



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# KOMPLEXNÍ PŘÍSTUP K MODELOVÁNÍ DOPRAVNÍCH NÁKLADŮ PŘI ENERGETICKÉM VYUŽITÍ ODPADŮ

COMPLEX APPROACH TOWARDS DETERMINATION OF TRANSPORTATION COSTS ASSOCIATED  
WITH WASTE-TO-ENERGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTERS'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. JIŘÍ GREGOR

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. RADOVAN ŠOMPLÁK

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2013/14

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Gregor

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Komplexní přístup k modelování dopravních nákladů při energetickém využití odpadů**

v anglickém jazyce:

#### **Complex approach towards determination of transportation costs associated with waste-to-energy**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Česká republika neplní své závazky vůči EU v oblasti odpadového hospodářství. V ČR se stále skládá více než 80% komunálních odpadů. Dlouhodobou snahou je, aby se ČR zařadila mezi země s rozvinutým systémem odpadového hospodářství, který je v souladu s hierarchií nakládání s odpady. V takových systémech mají spalovny odpadů nezastupitelnou roli. Je evidentní, že v budoucnu musí dojít k zásadní proměně odpadového hospodářství ČR. Pokud budou realizována zařízení vyšších zpracovatelských kapacit bude význam dopravy odpadů (zejména komunálních) narůstat. Znalost dopravních nákladů a návrh efektivních systémů dopravy a jejich hodnocení představuje nedílnou součást posouvání jednotlivých investičních záměrů.

Cíle diplomové práce:

- Rešerše způsobu dopravy spalitelných komunálních odpadů se zaměřením na silniční dopravu.
- Seznámení se s nástrojem NERUDA určeném pro komplexní modelování toku odpadu na vymezeném území. Nástroj je dlouhodobě vyvíjen na řešitelském pracovišti ÚPEI.
- Vytvoření technicko-ekonomických modelů vybraných technologických řetězců dopravy odpadu a jejich úprava do podoby vhodné pro využití v nástroji NERUDA.
- Zpracování výsledků komplexních výpočtů.

Seznam odborné literatury:


- [1] Ucekaj, V. Analýza možností nakládání s komunálními odpady v rámci mikroregionu. Disertační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2010. 153 s.
- [2] Waste Management, ed.: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Luciano Pelloni, 978-3-935317-70-2, 2011
- [3] Procházka, V. Matematický model dopravní úlohy pro oblast odpadového hospodářství. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 43 s.
- [4] Šomplák R., Procházka V., Pavlas M., Popela P., The Logistic Model for Decision Making in Waste Management. Chemical Engineering Transactions, 2013,35(1), p. 817 - 822. ISSN: 1974-9791 DOI: 10.3303/CET1335136

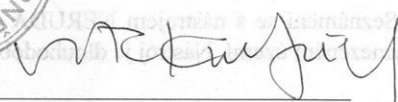
Vedoucí diplomové práce: Ing. Radovan Šomplák

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 26.11.2013



  
prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Smyslem a účelem předkládané diplomové práce je objektivně posoudit a vyhodnotit korektní volbu dopravy s možností odpad slisovat. V závislosti na klíčových parametrech, které ovlivňují konečnou cenu, zvolit ekonomicky nejvhodnější variantu. Tyto závislosti připravit pro následující aplikaci v nástroji NERUDA. Dále je nutné se zabývat systémem svozu jako celkem a finančně vyhodnotit reálné a především ekonomicky vhodné svozové vzdálenosti s možností využití překládací stanice.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Odpad, manipulace, svoz, ekonomika, cena, optimalizace

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to assess modes of transport and to choose the correct one with the possibility of compressing waste. Depending on key parameters which influence the final price, the most economical option is chosen. These variants are prepared for the following application in the software Neruda. It is necessary to evaluate the system of collection as a whole and to choose realistic and economical transport distances with transfer stations available.

## **KEYWORDS**

Waste, manipulation, transport, economy, price optimization

## **BIBLIOGRAFICKÉ CITACE**

GREGOR, J. *Komplexní přístup k modelování dopravních nákladů při energetickém využití odpadů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radovan Šomplák.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radovana Šompláka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Jiří Gregor

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto svému vedoucímu Ing. Radovanovi Šomplákovi za jeho konzultace, připomínky a cenné rady, které vedly k vytvoření této diplomové práce. Poděkování patří také Ing. Martinovi Pavlasovi, Ph.D., který se mi aktivně věnoval během celkového vypracovávání. Předmětná práce byla motivována aktivitami v rámci centra kompetence Waste-to-Energy (projekt č. TE02000236) financovaného Technologickou agenturou České republiky.

## Obsah

1. Úvod.....	11
1.1. Zaměření práce .....	13
1.2. Legislativa .....	14
1.3. Složení komunálního odpadu a jeho frakce.....	16
2. Svozové možnosti .....	20
3. Technicko-ekonomický model.....	22
3.1. Základní vstupní parametry .....	24
3.2. Nákladní automobily .....	26
3.3. Použité návěsy a přívěsy.....	30
3.4. Kontejnery .....	32
3.5. Manipulační technika .....	36
3.6. Adaptéry pro čelní nakladače .....	36
3.7. Lisovací a překládací stanoviště .....	37
3.8. Hrubá mzda.....	39
3.9. Mýtné.....	39
4. Matematický model optimalizace vozového parku .....	43
4.1. Analýza výsledků s cílem definovat reálné varianty svozu nelisovaného odpadu....	46
4.2. Analýza výsledků s cílem definovat reálné varianty svozu lisovaného odpadu.....	51
4.3. Zajímavosti z řešení.....	56
4.4. Citlivost ceny přepravy v závislosti na ceně PHM.....	58
5. The General Algebraic Modeling System.....	63
5.1. Motivační příklad .....	64
5.2. Proměnná cena za přepravu v motivačním příkladu .....	69
6. Závěr .....	71
POUŽITÉ SYMBOLY .....	73
ZDROJE.....	75
SEZNAM PŘÍLOH .....	79



## Seznam obrázků

Obr. 1 - Produkce komunálního odpadu od roku 2002 [3] .....	11
Obr. 2 - Hierarchie nakládání s odpady [6] .....	12
Obr. 3 - Produkce odpadů v Evropě .....	18
Obr. 4 - Zobrazení skládek v rámci ČR [15] .....	20
Obr. 5 - Základní schéma technicko-ekonomického modelu .....	23
Obr. 6 - Tahač společnosti Mercedes [20] .....	27
Obr. 7 - Jízdní souprava [21] .....	28
Obr. 8 - Hákový nakladač s hydraulickou rukou .....	29
Obr. 9 - Třínápravový přívěs    Obr. 10 - Dvounápravový přívěs .....	31
Obr. 11 - Pohled do WF [22]    Obr. 12 - Posuvné ližiny systému WF [23] .....	31
Obr. 13 - Nakládko lisovacího kontejneru    Obr. 14 - Lisovací kontejner [25] .....	33
Obr. 15 - Vykládka kontejneru Innofreight WoodTainer XXL [27] .....	34
Obr. 16 - Kontejner Innofreight WoodTainer XS [29] .....	34
Obr. 17 - Kontejner Innofreight WoodTainer XL [31] .....	35
Obr. 18 - Kontejner Innofreight WoodTainer XXL [33] .....	35
Obr. 19 - Síť zpoplatněných komunikací od 20. 12. 2013 [37] .....	40
Obr. 20 - Cena za dopravu - nelisovaný odpad .....	46
Obr. 21 - Cena za dopravu - Nelisovaný odpad - Wafer plot .....	47
Obr. 22 - Cena za dopravu - Nelisovaný odpad - Vrstevnicový graf .....	48
Obr. 23 - Cena za dopravu - Nelisovaný odpad - diagram důležitosti .....	49
Obr. 24 - Kompletní grafy [46] .....	50
Obr. 25 - Interval spolehlivosti pro nelisovaný odpad .....	50
Obr. 26 - Cena za dopravu - lisovaný odpad .....	52
Obr. 27 - Cena za dopravu - lisovaný odpad - Wafer plot .....	53
Obr. 28 - Cena za dopravu - lisovaný odpad - Vrstevnicový graf .....	54
Obr. 29 - Lisovaný odpad - diagram významnosti .....	55
Obr. 30 - Interval spolehlivosti pro lisovaný odpad .....	56
Obr. 31 - Vývoje ceny PHM .....	59
Obr. 32 - Citlivost ceny PHM - 30 kt .....	60
Obr. 33 - Citlivost ceny PHM - 50 kt .....	60
Obr. 34 - Citlivost ceny PHM - 75 kt .....	61
Obr. 35 - Citlivost ceny PHM - 100 kt .....	61
Obr. 36 - Mapa ČR s jednoduchou sítí .....	66
Obr. 37 - Výsledková mapa ČR - směry svozu odpadu .....	68

## Seznam tabulek

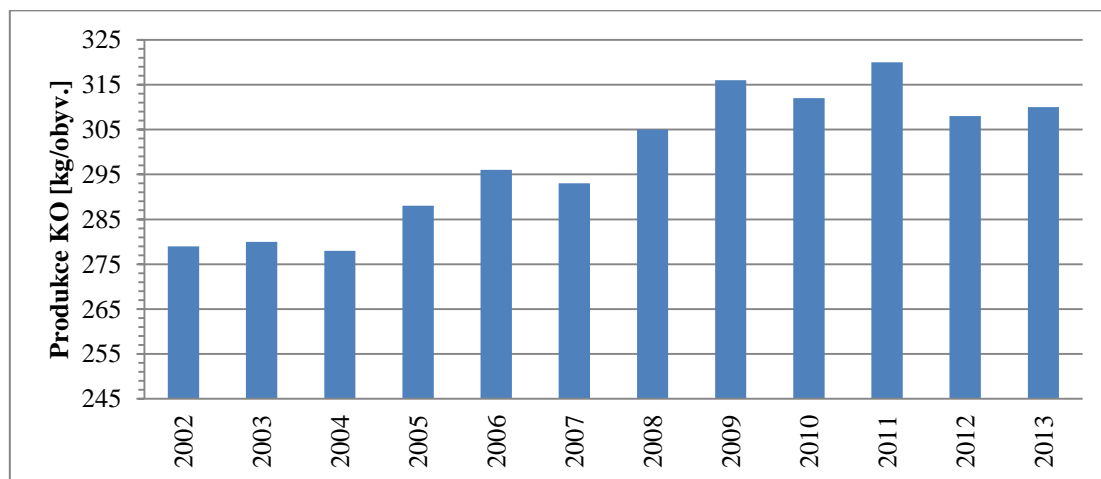
Tab. 1 - Pracovní doba .....	25
Tab. 2 - Stanovení životnosti.....	26
Tab. 3 - Základní charakteristiky tahače .....	27
Tab. 4 - Základní charakteristiky nákladního vozu.....	28
Tab. 5 - Základní charakteristiky vozu.....	29
Tab. 6 - Variabilní náklady na 1 km.....	30
Tab. 7 - Roční fixní náklady.....	30
Tab. 8 - Množství odpadu při rozdílné sypné hmotnosti.....	32
Tab. 9 - Základní finanční údaje pro lisovací kontejner.....	33
Tab. 10 - Základní finanční rozvaha pro Innofreight kontejnery .....	36
Tab. 11 - Základní charakteristiky pro velkoobjemové lžice.....	37
Tab. 12 - Základní parametry pro lisovací zařízení.....	39
Tab. 13 - Hrubé mzdové náklady .....	39
Tab. 14 - Cena mýtného - pátek .....	40
Tab. 15 - Cena mýtného - ostatní dny .....	40
Tab. 16 - Slevy na mýtném .....	41
Tab. 17 - Silniční síť v ČR v roce 2014 .....	41
Tab. 18 - Ukázka pokročilého síťování, při výpočtu mýta v systému NERUDA.....	42
Tab. 19 - Myšlenková rekapitulace fixní a variabilní náklady.....	43
Tab. 20 - Myšlenková rekapitulace výstupů ostatní.....	43
Tab. 21 - Svozové varianty .....	43
Tab. 22 - Varianty pro lisovaný odpad.....	51
Tab. 23 - Lisovaný odpad - vozový park.....	57
Tab. 24 - Nelisovaný odpad - vozový park .....	58
Tab. 25 - Úvaha - Innofreight kontejnery .....	58
Tab. 26 - Produkce odpadu v krajích v rámci kalendářního roku [45] .....	64
Tab. 27 - Jednotlivé vzdálenosti mezi uzly .....	65
Tab. 28 - Množství odpadu přes hranu.....	68
Tab. 29 - Definice lineární ceny dopravy nelisovaného odpadu.....	69

## 1. Úvod

Pojem odpad je definován ustanovením § 3 odst. 1 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů (dále jen „zákon č. 185/2001 Sb.“) takto: *“odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.”* [1]. Zákonný pojem nakládání s odpady je vymezen ustanovením § 4 odst. 1 písm. e) zákona č. 185/2001 Sb. takto: *„shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů.“* V České republice je možné nalézt v oblasti nakládání s odpady celou řadu firem, které se aktivně zabývají touto problematikou. Limity pro nakládání s odpady jsou vymezeny platnou legislativou, mezi nejdůležitější patří vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady ve znění pozdějších předpisů, přičemž platná legislativa je detailně rozpracována v druhém bodu této kapitoly. Zákonná omezení platí, jak v rámci České republiky, tak i celkově v rámci Evropské unie.

Za posledních deset let značně vzrostl počet zařízení pro nakládání s odpady. Především se jedná o vznik sběrných dvorů, dotřídovacích linek pro komunální odpad, kompostárny, bioplynové stanice, drtičky stavebního odpadu a celou řadu dalších [2]. Tato zmíněná nově vybudovaná centra se jednoznačně kladně začlenila do celkové infrastruktury pro nakládání jak s komunálním, tak i ostatním druhem odpadu. Tento druh růstu infrastruktury sebou nese řadu pozitivních hledisek. Z pohledu občana se jedná především o cenovou politiku, která v závislosti na velké konkurenci, pozitivně ovlivňuje cenu za sběr, manipulaci a likvidaci odpadů.

V ČR se vyprodukuje průměrně 310 kg [3] a zdroj [4] uvádí produkci až 510 kg (údaje z roku 2013) komunálního odpadu (dále jen „KO“) na obyvatele. Tyto zásadní rozdíly a celková problematika je detailně zpracována v bakalářské práci [5]. KO je definován zákonem č. 185/2001 Sb., ustanovením § 4 písm. b) takto: *„veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, a který je uveden jako komunální odpad v prováděcím právním předpisu s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.“* [1]. Přibližně třetina KO je každoročně uložena na skládky.



Obr. 1 - Produkce komunálního odpadu od roku 2002 [3]

EU schválila jasně preferovaný přístup k vzniku a nakládání s odpady, hlavní myšlenka hierarchie je zobrazena na obr. 2.



**Obr. 2 - Hierarchie nakládání s odpady [6]**

V současné době fungují v České republice tři aktivní zařízení pro energetické využívání odpadu (dále jen „EVO“). Jedná se o následující:

- Praha - ZEVO Malešice, Pražské služby, a.s.
- Brno - SAKO Brno, a.s.
- Liberec - TERMIZO, a.s.

Do roku 2020 se diskutuje až o jedenácti ZEVO po celé republice [1]. Mezi nejdiskutovanější lokality patří především Jihlava, Karviná, Most, Komořany, Přerov, přičemž lokalita Chotíkov u Plzně má již přiděleno stavební povolení a v současné době je ve fázi aktivní výstavby. Značným problémem při úvahách o realizaci spalovny je velký odpor občanů a místních obyvatel, kteří žijí v bezprostřední blízkosti vytipované lokality (tzv. NIMBY efekt). Avšak je potřeba zmínit, že spalování komunálního odpadu v zařízení EVO, je jedním z nejlepších možných variant, jak v rámci environmentální bezpečnosti nakládat s komunálním odpadem [7]. Negativní stránkou výstavby zařízení EVO, stejně jako provozování každé jiné infrastruktury nakládání s odpady (separovaný sběr, recyklace), je zvýšení nákladů na provoz systému a s tím spojená finanční zátěž pro občany (vzrůstající poplatek za komunální odpad). Pro kalendářní rok 2014 je poplatek ve městě Brně stanoven na částku 670 Kč za fyzickou osobu.

Zařízení EVO jsou samy o sobě značně nákladná zařízení, a to jak z pohledu provozního, tak i samotné investice. Investiční náklady EVO zařízení je vždy několika miliardová záležitost - pro příklad lze uvést zdroj [8], který definuje investici cca 20 000 000 Kč na jednu kt odpadu. Dosavadní zkušenost ukazuje, že výstavba EVO zařízení je spojena s dotacemi nejen v rámci České republiky, ale také v rámci Evropské unie. V současné době se postoj k dotacím od EU značně zkomplikoval. Z tohoto nepříliš pozitivně vyhlížejícího faktu, připadá velká část zdrojů financování na kraje a soukromé investory, kteří jsou aktivně zainteresováni do předmětné problematiky. Další možností pro získání finančních prostředků je využití poplatků ze skládkování, které by měly částečně dotovat realizaci výstavby EVO.

Aby bylo možné reálně vybudovat EVO zařízení, které bude mít značně ekonomické provozní náklady, je třeba zajistit dlouhodobý a jednotný přísun odpadu pro spalení. V úvaze o provozu spalovny, jejíž životnost je až v horizontu třiceti let, je tak třeba predikovat i možný vývoj dodávek odpadu, respektive uvažovat, jak reálně zajistit potřebné množství v případě menší produkce a větší konkurence. Větší návoz je velmi důležitý především z hlediska ekonomiky celkového EVO zařízení, protože pravidelnou odstávku kotlů v závislosti na nedostatku odpadu lze považovat za ekonomickou sebevraždu předmětného zařízení. Zde právě hraje enormní roli svoz odpadu ze vzdálenějších oblastí, které je třeba zajistit pomocí dlouhodobých kontraktů. Tato problematika se v současné době objevuje u EVO zařízení v Německu, které se potýká s nedostatkem odpadu [9]. Samozřejmě je potřebné zmínit, že se nejedná pouze o problém Německa, ale o zcela aktuální problém i ostatních členských států EU, které aktivně využívají EVO zařízení k energetickému využití odpadu.

Z výše uvedené argumentace vyplývá, že výstavba EVO zařízení je perspektivním řešením v oblasti nakládání s odpady a vhodnou variantou, jak razantně odklonit skládkování v rámci ČR.

## 1.1. Zaměření práce

Cílem diplomové práce je optimalizace ekonomických nákladů v rámci svozové úlohy odpadu. Je uvažováno několik variantních řešení logistického řetězce pro dopravu odpadu od producenta (obce) do koncového zařízení (zejména EVO zařízení). Pro konkrétně definované parametry je hledáno optimální nastavení vozového parku s cílem minimalizovat náklady na svoz odpadu. V závislosti na stále rostoucí ceně ropy, energií a ostatních komodit, je nutné prioritně zajistit snižování nákladů ve všech odvětvích. V této souvislosti je třeba zmínit, že řada firem svozovou problematiku často zanedbává, neboť jí nepřikládá velký význam.

V předmětné práci je možné se fakticky přesvědčit, že při korektní volbě vozového parku lze v rámci provozních nákladů uspořit nemalé finanční prostředky. Tato úspora souvisí především se správnou volbou typu nákladních vozidel a s hospodárným využitím manipulátorů, kontejnerů a ostatní transportní techniky.

Matematický model, který je výstupem této diplomové práce, bude predikovat dopravní náklady, které uvažujeme z místa A do místa B. Rovněž bude rozhodnuto, zda je ekonomicky výhodné uvažovat o výstavbě překládací stanice s lisovacím zařízením (viz dále) jako prvku, který snižuje provozní náklady. Tedy jednoduše řečeno, uvažovaný model bude schopen vybrat nejvhodnější složení vozového parku v závislosti na definovaných parametrech. Mezi tyto základní parametry patří především denní odvoz odpadu, vzdálenost, apod.

Předmětný model bude demonstrován na zjednodušené úloze viz motivační příklad kapitola 5.1. Další vývoj nad rámec této práce bude vztažen k reálné aplikaci ve výpočtovém nástroji NERUDA. Vzájemné spojení technicko-ekonomického modelu a vyvíjeného

výpočtového systému NERUDA umožňuje reálně simulovat dopravní náklady. Toto spojení je enormně silný nástroj pro modelování v oblasti svozové úlohy.

## 1.2. Legislativa

Abychom mohli korektně stanovit model pro optimalizaci a predikci dopravních nákladů, je nutné se seznámit s platnou legislativou, která částečně vymezuje limity předmětného modelu. V diplomové práci je zmíněna pouze nejdůležitější legislativa týkající se svozové a skladovací problematiky nakládání s komunálním odpadem.



Zákony, vyhlášky, jejich přílohy a související materiály byly čerpány z právnického programu Codexis. Tento program je univerzální systém, který obsahuje problematiku národní legislativy a legislativy EU, zachycující rovněž její aktuální změny a vývoj.

### **Vyhláška č. 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích (dále jen „vyhláška č. 341/2002 Sb.“)**

Tato vyhláška je velice důležitá právě v oblasti svozu komunálního odpadu a celkové dopravní charakteristiky. Vyhláška č. 341/2002 Sb., definuje zejména:

- Délku, šířku a maximální výšku soupravy.
- Maximální zatížení celé jízdní soupravy.

Ustanovení § 15 odstavec 2 řádek i) citované vyhlášky definuje největší povolenou hmotnost jízdních souprav v silniční dopravě na území ČR. Jedná se o hodnotu 48 t na jednu jízdní soupravu. V rámci této práce je rovněž důležité zmínit, že zákonné ustanovení o nejvyšší povolené hmotnosti platí v uvedeném znění pouze v ČR. Kdybychom uvažovali o svozu komunálního odpadu v rámci EU, je zde bezpodmínečně nutné ověřit si platnou legislativu o přípustné hmotnosti v rámci konkrétní země. Pro EU obecně platí maximální zatížení 40 t na jednu jízdní soupravu; toto omezení se pak může stávat problematickým při určitých variantách logistických řetězců (např. doprava kamióny s posuvnou podlahou nebo kontejnery, viz dále kapitola 3).

**Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (dále jen „vyhláška č. 383/2001 Sb.“)**

Tato vyhláška je platná dnem 17. října 2001 a vymezuje skladování odpadů takto:

- Sklad odpadů může být např. volná plochy, přístřešek, budova, podzemí, nadzemní nádrže aj., které splňují technické parametry pro skladování odpadů, viz ustanovení § 7 odstavec 1 citované vyhlášky.
- Technické parametry pro skladování odpadů definuje ustanovení § 7 odstavec 2 řádek a) až e) citované vyhlášky takto:

- „a) Musí být vzájemně oddělené a utěsněné tak, aby bylo zabráněno míšení jednotlivých druhů odpadů a zabráněno jejich úniku do okolního prostředí.*
- b) Svým provedením a organizací provozu musí zabezpečit, že nedojde k ohrožení zdraví člověka a poškození žádné ze složek životního prostředí podle zvláštních právních předpisů.*
- c) Sklady nebezpečných odpadů musí splňovat stejné technické a bezpečnostní požadavky jako sklady látek, přípravků a výrobků stejných nebezpečných vlastností.*
- d) Musí umožnit snadnou a bezpečnou manipulaci s odpady ve vnějších a vnitřních prostorech.*
- e) Místa, na nichž jsou odpady skladovány v přímém kontaktu s terénem nebo podlahou (bez využití skladovacích prostředků), musí svým technickým zabezpečením odpovídat těsnění příslušných skupin skládek určených k odstraňování skladovaných odpadů.“*

- Dlouhodobé skladování odpadu definuje ustanovení § 7 odstavec 4 citované vyhlášky.

Velmi důležité jsou i přílohy této vyhlášky, které definují nakládání s odpady dle konkrétního rozdělení a legislativní realizaci zařízení ke sběru a výkupu odpadů.

**Citovaná vyhláška však nedefinuje, že komunální odpad je nutný ihned zpracovat, tudíž za určitých podmínek ho lze uskladnit, např. na překladišti do následujícího dne.**

**Vyhláška č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů) - (dále jen „vyhláška č. 381/2001 Sb.“)**

Tato vyhláška je platná dnem 17. října 2001.

- Odpad je v této vyhlášce charakterizován šestimístním katalogovým číslem, které je uvedeno v Katalogu odpadů. První dvojčíslí určuje skupinu odpadů, druhé dvojčíslí podskupinu odpadů a poslední dvojčíslí druh odpadu – viz ustanovení § 2 odstavec 1 citované vyhlášky.



## **Příloha č. 1**

Katalog odpadů - odpad dělí do 20 skupin. Pro práci je třeba definovat v souladu s citovanou vyhláškou pouze komunální odpad.

Označení č. 20 - Komunální odpad (odpady z domácnosti a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru.

## **Příloha č. 2**

Definuje dělení do podskupiny odpadů a druh odpadů. Přesné detailní dělení, lze nalézt v přílohové části této práce.

Označení č. 20 01 - Složky z odděleného sběru.

Označení č. 20 02 - Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu).

Označení č. 20 03 - Ostatní komunální odpady.

Identifikace odpadů je dle citované vyhlášky značně složitá a pro účely této práce je seznámení s uvedenou vyhláškou naprosto dostačující.

## **EC Regulation No 1013/2006 [10]**

Toto nařízení stanovuje postupy a kontrolní režimy pro přepravu odpadů v závislosti na jejich původu, určení, trase přepravy a dalších úpravách, které se realizují v místě určení. Rozsah aplikací zahrnuje přepravu odpadů:

- Mezi členskými státy EU nebo tranzitem přes třetí země.
- Dovoz do EU ze třetích zemí.
- Vyvoz z EU do třetích zemí.
- Přepravou přes EU na cestě z a do třetích zemí.

Přeprava odpadů je předmětem předchozího písemného oznámení a souhlasu definované těmito ustanoveními.

## **1.3. Složení komunálního odpadu a jeho frakce**

Ze zákona č. 185/2001 Sb., vyplývá definice komunálního odpadu. Citovaný zákon odpad definuje jako veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání. Související právní předpisy upravující problematiku komunálního odpadu jsou uvedeny v předcházející kapitole "Legislativa". Směšný komunální odpad (dále jen „SKO“) lze definovat jako netříděnou složku komunálního odpadu, který je produkován především domácnostmi.



Komunální odpad je tvořen jednotlivými složkami, které se mohou značně lišit v závislosti na charakteru zástavby. Rozlišujeme tři základní druhy zástavby, tj. sídlištní, smíšená a venkovská zástavba.

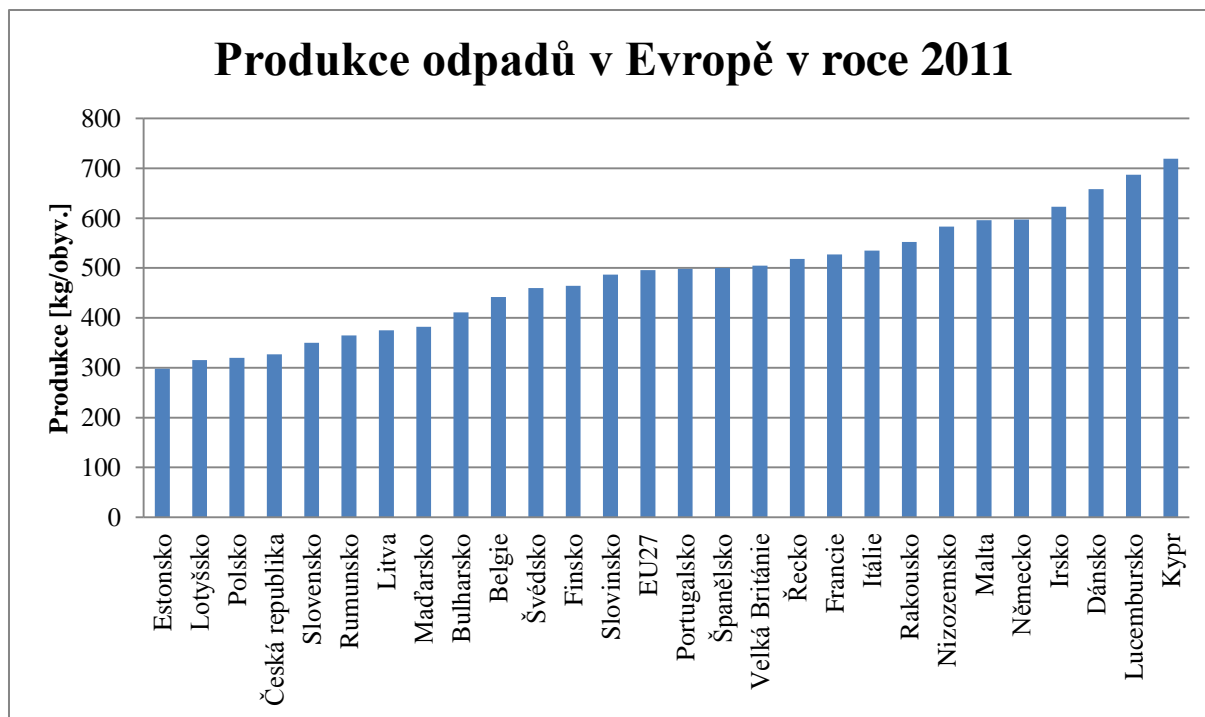
Z výše uvedeného dělení, je značně problematické stanovit korektní procentuální zastoupení jednotlivých složek v komunálním odpadu. Statistiky v ČR udávají následující procentuální zastoupení jednotlivých složek [11].

- Papír a lepenka	38,7 %
- Zahradní odpad	12,8 %
- Potraviny	10,1 %
- Ostatní	10,1 %
- Plasty	9,9 %
- Kovy	7,6 %
- Sklo	5,5 %
- Dřevo	5,3 %

Reálné dělení SKO probíhá na třídících linkách, které dělíme takto:

- ***Lehké frakce*** (papír, plasty, textil) značíme LF.
- ***Těžké frakce*** (sklo) značíme TF.
- ***Podsítné frakce*** (biologicky rozložitelný odpad) značíme PF.
- ***Kovy***.

Lze konstatovat, že roční produkce odpadů v ČR v přepočtu na jednoho obyvatele je podprůměrná ve srovnání s Evropou. Mezi největší producenty SKO patří Kypr, Lucembursko, Dánsko viz obr. 3.



Obr. 3 - Produkce odpadů v Evropě

V EU převažuje skládkování a to především u balkánských států, které přibližně 90 % SKO skládkuje. V opačném případě státy jako Dánsko, Belgie nebo Nizozemí skládkovaly v roce 2011 pouze 10 % SKO, což lze chápat jako radikální změnu v oblasti nakládání s SKO a samozřejmě pozitivní krok do budoucna [2].

### Skládkování

Skládka je technické zařízení určené k odstranění odpadů jejich trvalým a řízeným uložením na zemi nebo do země. Jedná se o nejstarší způsob „likvidace“ odpadů. V ČR skládkování představuje nejvyužívanější způsob odstranění SKO cca 60 %.

### Energetické využití odpadu

K likvidaci SKO je možné využít termického zpracování. Lze konstatovat, že EVO zařízení je konečným a logickým procesem pro skutečné energetické využití odpadu. EVO využívá výhřevnost SKO k tvorbě páry, která dále produkuje požadované komodity jako elektrickou energii a teplo. EVO zařízení jsou často konstruovány takovým způsobem, aby část přebytečné páry byla využita v návazných teplárenských soustavách. Toto je značně pozitivní fakt, především v době odstávek tepláren, kdy spalovny jsou schopny pokrýt nejen svůj vlastní provoz a nucené dodávky, ale i aktivně zásobovat kooperující teplárnu.

**MBÚ - Mechanicko-biologická úprava**

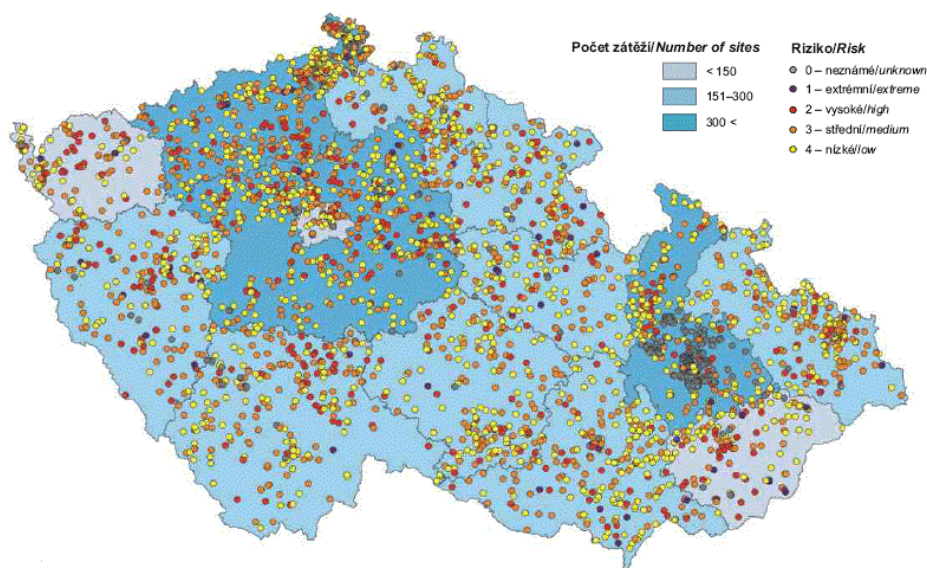
MBÚ systém likvidace odpadů v prvním kroku odpad třídí a dále zpracovává (drtí, mele). Dalo by se říci, že se jedná o úpravu SKO, která by částečně měla předcházet skládkování. Prvopočátky se datují k 70. létům, kdy Spojené státy americké a Velká Británie hledali alternativní zdroje paliva v závislosti na zvyšující se ceně ropy. Z toho důvodu vznikla celá řada závodů, které separovaly LF a začaly ji aktivně využívat k energetickým účelům v závislosti na velmi dobré výhřevnosti. Tzn. část odpadu se spaluje, nespalitelná část by se měla vyvážet na skládky a část biologická by se měla ukládat ke kompostování. V tomto směru lze konstatovat, že až 1/3 odpadů po zpracování v MBÚ končí na skládkách, tedy lze hovořit o třetinovém snížení množství odpadů na skládkách [12]. Položme si otázku, zda tato metoda zpracování odpadů je opravdu perspektivní?

Negativní stránky této metody [13]:

- Značné zvýšení nákladní automobilové dopravy (svoz na třídíčky).
- Pachové zamoření a prašnost.
- Výskyt plísní, bakterií a jiných živočichů.
- Nutná výstavba dalších zařízení, odstranění pouze 1/3 odpadů v podobě LF.
- Pouze přepracování odpadů = začarovaný kruh a převoz z místa A do místa B.
- Ekonomický přežitek.

## 2. Svozové možnosti

Jak již bylo uvedeno v úvodu, organizace svozu pro naplnění potřebné kapacity EVO zařízení je značně komplikovaný systém, který je nutno detailně rozpracovat. Toto rozpracování je důležité především z důvodu ekonomické rentability a investic do komplexní struktury v oblasti EVO. Stěžejním rokem pro zlom v oblasti nakládání s odpady je uvažován rok 2025 [14], neboť se aktivně diskutuje o zákazu skládkování neupraveného komunálního odpadu po celé ČR, viz obr. 4. Do této doby se očekává postupný nárůst ceny za odvoz a nakládání s komunálním odpadem. Z obr. 4 lze jednoznačně konstatovat, že svozové hledisko nehraje v současné době významnou roli, protože skládek je po území ČR značné množství.



Obr. 4 - Zobrazení skládek v rámci ČR [15]

S přihlédnutím k výše zmiňované skutečnosti, důležitost svozu komunálního odpadu začne být v nastíněném časovém horizontu razantně diskutovaným problémem. Počet nově vybudovaných EVO zařízení, překladišť či jiných zařízení pro sběr odpadů bude výhledově v rámci ČR daleko nižší než počet skládek.

V rámci ČR je možné uvést již několik aktivně fungujících překladišť, které jsou v plném provozu. Nutné je zmínit, že budování nových překladišť je v současné době značně diskutovanou problematikou a stále se hledají nové lokality, které jsou vhodné pro reálnou výstavbu. Překladiště jsou projektová řešení, která se uzpůsobují definovaným požadavkům, jako jsou překládací objem a individuální potřeby zákazníka. Mezi nejznámější taková zařízení patří především:

- Překladiště Horažďovice.
- Překladiště TKO – Blansko.
- Překladiště odpadů Dřevtická.
- Překladiště Chomutov.
- Překladiště Proseč.
- Překladiště Pražských služeb, a.s.

V současné době lze konstatovat, že dopravci a investoři nekladou velkou důležitost na využívaný vozový park, protože vzdálenosti jsou poměrně malé nebo dokonce i minimální. Jedná se vzdálenost svozu do cca 20 km. Právě v závislosti na předpokládaném uzávěru skládek bude nutné tuto problematiku začít aktivněji řešit a současně sledovat ekonomickou rentabilitu vozového parku. Je zcela jednoznačné, že dopravní náklady se budou navyšovat vlivem vyšších svozových vzdáleností. Tyto ekonomické výzkumy se již aktivně tvoří v Německu a ve Švýcarsku, kde využití EVO zařízení dosahuje až 50 % [16] zpracování veškerého komunálního odpadu.

Dle studie [17] je možné uvažovat o svozu komunálního odpadu pomocí silniční dopravy do vzdálenosti cca 280 km, poté se jeví rentabilnější využití svozu v rámci železniční dráhy. Samozřejmě se vše odvíjí od svozových možností Německa, kde analogické studie aktivně probíhají a provozovatelé zařízení EVO, mají povinnost část odpadu dopravovat po železnicích. Z tohoto důvodu svozy na vzdálenost 300 km a více jsou zde zcela běžné. Pro ukázkou je možné zmínit dopravu odpadu z Nizozemí, Belgie, Velké Británie a Severního Irska, Francie nebo Polska. V roce 2012 bylo do Německa dovezeno 736 kt komunálního odpadu a do budoucna se počítá až s dopravou 1,5 milionů tun dováženého odpadu za rok [18].

Z výše uvedených faktů a nastíněných perspektiv v rámci České republiky bude proto nutné se recentně zaměřit a rozpracovat silniční dopravu, která bude v rámci naší republiky dominantní a prioritní.

### 3. Technicko-ekonomický model

Tato kapitola se věnuje popisu předmětného ekonomického modelu, který byl vytvořen v programu Microsoft Office Excel 2010. Model je značně obsáhlý a vstupuje do něj celá řada parametrů, které více či méně ovlivňují komplexní výstupy modelu. Aby bylo možné definovat základní myšlenku a princip předmětného modelu, byla vytvořena ideová mapa, která slouží k utvoření základní představy, jak ekonomický model pracuje.

Veškerá technická specifikace, cenová kalkulace a ostatní parametry jsou autorovými ideami čerpanými z individuálních zdrojů informací. Jednalo se především o osobní jednání a konzultace s dopravci, konzultace s odborníky ze společnosti Pražské služby, a.s. Sběr dat byl realizován průzkumem trhu a studiem technických specifikací konkrétních požadavků technicko-ekonomického modelu a autorovými zkušenostmi v oblasti ekonomických úvah a modelování.

Technicko-ekonomický model je sestaven pro základní charakteristiky, kterými jsou:

- Nákladní automobily.
- Přívěsy, návěsy.
- Kontejnery.
- Manipulátory.
- Velkoobjemové lžice.
- Lisovací zařízení.

Z těchto stěžejních prvků je vytvořen přepoččet na **roční fixní náklad** a **kilometrové variabilní náklady**. V případě manipulátorů je výstup proveden jako náklad na motohodinu (dále jen „mth“). Motohodina je charakterizována jako jedna hodina práce motoru při jmenovitých otáčkách. Detailní rozpracování a celkové výstupy jsou uvedeny v následujících kapitolách této práce.

Myšlenková mapa pro technicko-ekonomický model je zobrazena na obr. 5. Vytvořeno pro nejběžnější řazení komponent logistického řetězce. Schéma je obecně platné a lze jej rozšiřovat a upravovat za dodržení celistvosti systémů.



Obr. 5 - Základní schéma technicko-ekonomického modelu

### 3.1. Základní vstupní parametry

Základní vstupní parametry, které jsou stěžejními údaji pro celý model:

- Cena nafty.
- Množství odvezeného odpadu za rok.
- Sypná hmotnost odpadu.
- Sypná hmotnost lisovaného odpadu.
- Pracovní doba.
- Pracovní doba denní.
- Životnost automobilů.
- Životnost kontejnerů.
- Životnost manipulátorů.
- Životnost lisovací stanice.
- Životnost velkoobjemové lžice.

#### Cena nafty

Jedná se o aktuální cenu nafty, která ovlivňuje veškeré provozní náklady, jak automobilů, tak i manipulátorů. Cena je uvažovaná bez DPH v závislosti na velikosti vozového parku a dlouhodobém kontraktu s dodavatelem pohonných hmot. Cena nafty v práci je označena  $C_{\text{nafta}}$  a je stanovena na hodnotu 30 Kč [19]. Pohonné hmoty jsou v textu značeny PHM.

#### Množství odvezeného odpadu za rok

Množství odvezeného odpadu za rok představuje hodnotu množství odpadů, kterou je potřebné zpracovat, jak formou logistiky, tak i formou překládací či lisovací stanice. Pro konkrétní představu ZEVO Malešice, Pražské služby, a.s. zpracovávají ve svém sběrném dvoře s lisovací stanicí denně až 200 tun odpadu.

Teoretické denní množství odpadu je značně zavádějící pojem, protože je obtížné predikovat rovnoměrnou každodenní dodávku odpadu. Tato predikce není závislá jen na dnech v týdnu, ale rovněž na měsících v roce jako např. letní prázdniny, Vánoce a vánoční svátky, Silvestr a jiná významná období roku.

Množství odvezeného odpadu za rok je značeno  $M_{\text{oor}}$ , denní množství  $M_{\text{ood}}$  a hodinové množství  $M_{\text{ooh}}$ .



## Sypná hmotnost odpadu

Sypná hmotnost je hmotnost objemové jednotky odpadu za definovaných podmínek do kontejneru či volně ložený odpad na překládací stanici. Sypnou hmotnost odpadu volíme z experimentálně zjištěných hodnot z provozoven, které se zabývají manipulací a nakládáním s komunálním odpadem. Je nezbytné definovat sypnou hmotnost volně loženého odpadu a sypnou hmotnost lisovaného odpadu, aby bylo možné reálně stanovit hmotnost naložených kontejnerů a tím korektně zjistit přepravované množství. Sypnou hmotnost volně loženého odpadu značíme  $m_o$  a lisovaného odpadu označíme  $m_{lo}$ . Hodnota volně loženého odpadu je zvolena  $275 \text{ kg/m}^3$  a hmotnost lisovaného odpadu je  $400 \text{ kg/m}^3$ . Volba sypné hmotnosti vychází z jednání s odborníky ze společnosti Pražské služby, a.s. a dle empirických měření při nakládání s odpady. V kapitole 3.4 bude dále volba sypné hmotnosti pro lisovaný odpad detailněji rozpracována a porovnána s legislativním omezením.

## Pracovní doba

Pracovní doba je stanovena podle průměrných pracovních dní v rámci jednoho kalendářního roku a značíme ji  $P_r$ . Denní pracovní doba charakterizuje počet hodin odpracovaných v jeden pracovní den a označíme ji  $P_d$ . Dále je nezbytné definovat roční hodinovou pracovní dobu, která je značena  $P_{rh}$  a lze ji vypočítat z následujícího vztahu:

$$P_{rh} = P_r \cdot P_d$$

**Tab. 1 - Pracovní doba**

Pracovní doba		
Denní pracovní doba	$P_d$	10 hodin
Roční pracovní doba	$P_r$	220 dní

Denní pracovní doba je stanovena ustanovením § 79 odst. 1 zákona č. 262/2006 Sb., zákoníku práce (dále jen „zákoník práce“) na maximálně 40 hodin týdně neboli 8 hodin denně. V technicko-ekonomickém modelu byla stanovena denní pracovní doba na 10 hodin, v závislosti na efektivnějším využití vozového parku a pohodlnější plánování směn zaměstnanců.

## Životnosti

Vzhledem k reálnému ekonomickému modelu, je nutné definovat životnost jednotlivých technických celků v předmětném modelu. Stanovení a výběr korektního zařízení nezávisí pouze na nízké pořizovací ceně, ale především provozních nákladech a délce životnosti. Životnost hraje v ekonomických modelech relevantní význam a souvisí s nutnými reinvesticemi do provozovaného zařízení.

V modelu je třeba definovat životnosti následujících zařízení viz tab. 2.

**Tab. 2 - Stanovení životností**

Stanovení životností		
-	Označení	Životnost [Roků]
Automobil	$\check{Z}_a$	10
Kontejner	$\check{Z}_k$	8
Manipulátor	$\check{Z}_m$	10
Lisovací stanice	$\check{Z}_{ls}$	15
Lžice	$\check{Z}_l$	5

### 3.2. Nákladní automobily

Nákladní auta lze považovat za klíčová, protože řeší dopravní úlohu. V současné době je na trhu nepřeberné množství nákladních automobilů vhodných pro uvažované dopravní využití, resp. částečnou manipulaci s komunálním odpadem. Abychom zajistili veškeré základní svozové varianty, byly zvoleny tři nákladní automobily, a to:

- Tahač neboli truck, který bude sloužit k odvozu Walking Floor systému (dále jen „WF“).
- Nákladní automobil s nosností do 25 t.
- Hákový nakladač, který si sám naloží nalisovaný kontejner.

V závislosti na požadavcích těchto tří uvažovaných nákladních automobilů byly vybrány společnosti Mercedes a Renault, které budou zastupovat výše uvedené modely. Konkrétní modely automobilů byly zvoleny na základě konzultací s odborníky ze společnosti Pražské služby, a.s. a na základě technických specifikací dostupných z veřejných zdrojů. V současné době lze zcela jasně konstatovat, že kvalitní výběr nákladních automobilů již nezáleží na konkrétní značce, jako tomu bylo v dobách dřívějších. Trh a nabídka jsou značně konkurenceschopné, jak v rámci kvality, tak i cenové politiky. Vše se odvíjí od jasně definovaných požadavků a následné nabídky dané automobilky na požadovaný vozový park.

#### Tahač

**Definice:** Tahač neboli truck je nákladní vozidlo určené k tahání návěsů.

Mercedes Actros NEW byl zvolen jako nákladní tahač pro systém kontejnerů WF. Základním požadavkem na tento automobil je užitková hmotnost 25 t, hodnota vychází z ložné plochy 90 m<sup>3</sup> odpadu naloženého v systému WF. V závislosti na uvedeném množství odpadu je nutné zvolit odpovídající výkon a konstrukci tahače.



Obr. 6 - Tahač společnosti Mercedes [20]

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, veškeré charakteristiky a cenové kalkulace byly vytvořeny po konzultacích a jednáních s odborníky, kteří se zabývají danou problematikou. V tab. 3 lze nalézt výčet nejdůležitějších základních parametrů vozu typu tahač.

Tab. 3 - Základní charakteristiky tahače

Tahač		
Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Reálná testovaná spotřeba - Plný vůz	40	[l/100 km]
Reálná testovaná spotřeba - Prázdný vůz	28	[l/100 km]
Užitková nosnost auta	35	[t]
Pořizovací náklady – truck	3 700 000	[Kč]
Emise - kategorie N3	800	[Kč/rok]
STK - kategorie N3	1 200	[Kč/rok]
Povinné pojištění auto	25 000	[Kč/rok]
Silniční daň	30 000	[Kč/rok]
Výdaje spojené s opravami NV	200 000	[Kč/rok]
Servis	100 000	[Kč/rok]
Spotřeba oleje	5	[% PHM]
Správní režie	40 000	[Kč]
Provozní režie	47 500	[Kč]

## Nákladní automobil

**Definice:** Nákladní automobil je typem užitkového automobilu, který slouží převážně pro přepravu nákladu nad 1 500 kg. Může jít o menší automobily s nosností několika tun nebo i o velké kamiony s návěsem nebo jedním až dvěma přívěsy s nosností desítek tun.

Nákladní automobil není třeba dále definovat. Opět zde rozlišujeme automobily dle výkonu a ložné hmotnosti – dvounápravový a třinápravový vůz. Samozřejmě, že je možné dle technické specifikace automobilů, najít mnoho rozdílů v této kategorii vozidel, avšak pro předmětnou práci tyto rozdíly jsou zcela zanedbatelné.



Obr. 7 - Jízdní souprava [21]

V tab. 4, lze nalézt výčet nejdůležitějších základních parametrů vozu typu nákladní automobil.

Tab. 4 - Základní charakteristiky nákladního vozu

Nákladní auto		
<i>Charakteristika</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
Reálná testovaná spotřeba - Plný vůz	45	[l/100 km]
Reálná testovaná spotřeba - Prázdný vůz	30	[l/100 km]
Užitková nosnost auta	20	[t]
Pořizovací náklady - truck	3 000 000	[Kč]
Emise - kategorie N3	900	[Kč/rok]
STK - kategorie N3	1 400	[Kč/rok]
Povinné pojištění auto	25 000	[Kč/rok]
Silniční daň	30 000	[Kč/rok]
Výdaje spojené s opravami NV	200 000	[Kč/rok]
Servis	100 000	[Kč/rok]
Spotřeba oleje	5	[% PHM]
Správní režie	40 000	[Kč]
Provozní režie	47 500	[Kč]

## Hákový nakladač

Hákový nakladač neboli auto s hákem je automobil, který disponuje výškově stavitelným hákem. Háček se otočí a spustí ke kontejneru. Kontejner je naložen pomocí speciálního oka, do kterého je zachycen předmětný háček. Následuje trhnutí a naložení kontejneru na nápravu nákladního auta. Tento druh aut lze pořídit dvounápravový nebo třínápravový. Běžná výška háku pro nakládku se pohybuje v rozmezí – 1 200 – 1 600 mm.



**Obr. 8 - Hákový nakladač s hydraulickou rukou**

V tab. 5 lze nalézt výčet nejdůležitějších základních parametrů hákového nakladače.

**Tab. 5 - Základní charakteristiky vozu**

Hákový nakladač		
Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Reálná testovaná spotřeba – Plný vůz	47	[l/100 km]
Reálná testovaná spotřeba – Prázdný vůz	30	[l/100 km]
Užitková nosnost auta	20	[t]
Pořizovací náklady – truck	3 500 000	[Kč]
Emise – kategorie N3	900	[Kč/rok]
STK – kategorie N3	1 400	[Kč/rok]
Povinné pojištění auto	25 000	[Kč/rok]
Silniční daň	30 000	[Kč/rok]
Výdaje spojené s opravami NV	200 000	[Kč/rok]
Servis	100 000	[Kč/rok]
Spotřeba oleje	5	[% PHM]
Správní režie	40 000	[Kč]
Provozní režie	47 500	[Kč]

## Porovnání fixních a variabilních nákladů

V tab. 6 lze nalézt variabilní náklady na 1 km, které byly stanoveny pro volenou životnost pneumatik (50 000 km) a definovanou spotřebu PHM. Mýtný systém a jeho detailní rozpracování lze nalézt v kapitole 3.9.

**Tab. 6 - Variabilní náklady na 1 km**

Variabilní náklady na 1 km				
-	<i>Mercedes Actros NEW</i>	<i>Renault D WIDE</i>	<i>Mercedes THW</i>	Jednotky
Pneumatiky	0,8	0,8	1,2	[Kč/km]
Palivo	10,2	11,2	11,6	[Kč/km]
Olej	0,5	0,6	0,6	[Kč/km]
Opotřebení	2,0	2,0	2,0	[Kč/km]
Mýtné	od 1,3	od 1,3	od 1,3	[Kč/km]
<b>Celkové variabilní náklady</b>	<b>13,5</b>	<b>14,6</b>	<b>15,3</b>	<b>[Kč/km]</b>

V tab. 7 jsou zobrazeny celkové roční fixní náklady pro definované nákladní automobily.

**Tab. 7 - Roční fixní náklady**

Roční fixní náklady				
-	<i>Mercedes Actros NEW</i>	<i>Renault D WIDE</i>	<i>Mercedes THW</i>	Jednotky
Roční odpis automobilu	400 000	300 000	350 000	[Kč]
Emise - kategorie N3	800	900	900	[Kč/rok]
STK - kategorie N3	1 200	1 400	1 400	[Kč/rok]
Povinné pojištění NV	25 000	25 000	25 000	[Kč/rok]
Silniční daň	30 000	30 000	30 000	[Kč/rok]
Výdaje spojené s opravami	200 000	200 000	200 000	[Kč/rok]
Správní režie	40 000	40 000	40 000	[Kč/rok]
Provozní režie	47 500	47 500	47 500	[Kč/rok]
Mzdy	445 500	445 500	445 500	[Kč/rok]
<b>Celkové fixní náklady</b>	<b>1 190 000</b>	<b>1 090 300</b>	<b>1 140 300</b>	<b>[Kč/rok]</b>

### 3.3. Použité návěsy a přívěsy

#### Přívěs

**Definice:** Přívěs je nemotorové přípojné vozidlo, které je poháněno tažením jiným, zpravidla motorovým vozidlem (osobním automobilem, přívěsovým tahačem či traktorem).

Je uvažováno o dvou typech přívěsů, tj. dvouosý a tříosý. Základní rozdíl spočívá v ložné délce a užitkové přepravní hmotnosti. Volba těchto dvou přívěsů vychází z variability odvážených kontejnerů. Například na tříosý přívěs je možné délkově naložit až 3 Innofreight XS kontejnerů. Variabilita je také v rámci konstrukce přívěsů, zde lze uvažovat s nosností od 10 do 20 t. V technicky ekonomickém modelu je stanovena nosnost pro dvounápravový přívěs na 15 t a pro přívěs třinápravový na 18 t.





Obr. 9 - Třínápravový přívěs



Obr. 10 - Dvounápravový přívěs

### Návěs typu Walking floor

**Definice:** Návěs je přípojně nemotorové vozidlo, u kterého je část celkové hmotnosti přenášena na tahač návěsů.

Walking floor lze charakterizovat jako návěs s posuvnou podlahou, tzn. s posuvným hydraulickým systémem. Tento druh návěsů je vhodný pro přepravu sypkých hmot nebo zboží na paletách. Náklad se nakládá shora, respektive přes zadní dveře návěsu na posuvnou podlahu.



Obr. 11 - Pohled do WF [22]



Obr. 12 - Posuvné ližiny systému WF [23]

Výhody tohoto systému jsou následující:

- Hydraulická posuvná podlaha.
- Časově pohodlná vykládka.
- Možnost vykládky v prostorech s malou podjezdovou výškou.
- Využití jak u sypkých, tak i paletových materiálů.

Standardní technické parametry jsou:

- Celohliníková konstrukce.
- Objem ložné plochy  $90 \text{ m}^3$ .
- Podjezdová výška 3,65 – 4 m dle konkrétního typu.

Návěsy typu Walking floor jsou vhodné pro řadu materiálů, více informací o materiálech a detailnější technické specifikaci lze nalézt v příloze č. 2 a zdroji [24].

### 3.4.Kontejnery

Správný výběr kontejnerů hraje při nakládání s odpadem velkou roli, protože právě v kontejnerech je veškerý odpad převážen a manipulován. V závislosti na uvažovaném využití automobilů byly zvoleny následující kontejnery, které patří i v běžné praxi k těm nejpoužívanějším. Jedná se o lisovací přípojné kontejnery, Innofreight kontejnery a návěsové kontejnery v podobě Walking floor systému.

#### Lisovací kontejner

Lisovací přípojné kontejnery slouží pro napojení na lisovací zařízení. Zařízení naplní kontejnery pomocí beranu, kontejner se uzavře a nakládá se autem s hákem nebo manipulátorem na jízdní soupravu, tj. autem s hákem a přívěsem nebo nákladním autem s přívěsem. Lisovací kontejnery jsou vyráběny v objemech od 15 do  $45 \text{ m}^3$ . V modelu je uvažováno s kontejnery o objemu  $30 \text{ m}^3$ , které jsou ze svozového hlediska a celkové váhy naplněných kontejnerů ekonomicky nejvhodnější. Hmotnost uvažovaných prázdných lisovacích kontejnerů tohoto objemu je cca 3,5 t a naplněných cca 16 t. Pro srovnání je uvedena tab. 8, která definuje množství odpadu při rozdílné sypné hmotnosti. Lze konstatovat, že lisování na hodnotu  $400 \text{ kg/m}^3$  je zcela reálně zvolená hodnota v závislosti na platném legislativním omezení viz první kapitola. Hmotnosti v tab. 8 jsou definovány bez vlastní hmotnosti kontejnerů.

**Tab. 8 - Množství odpadu při rozdílné sypné hmotnosti**

Množství odpadu v kontejneru při rozdílné sypné hmotnosti a velikosti kontejnerů [t]					
Sypná hmotnost [ $\text{kg/m}^3$ ]	25 [ $\text{m}^3$ ]	30 [ $\text{m}^3$ ]	35 [ $\text{m}^3$ ]	40 [ $\text{m}^3$ ]	45 [ $\text{m}^3$ ]
300	7,5	9	10,5	12	13,5
400	10	12	14	16	18
500	12,5	15	17,5	20	22,5
600	15	18	21	24	27





Obr. 13 - Nakládka lisovacího kontejneru



Obr. 14 - Lisovací kontejner [25]

Tab. 9 definuje základní charakteristiky pro lisovací kontejner, přičemž analogicky jsou ceny stanoveny pro ostatní kontejnery.

Tab. 9 - Základní finanční údaje pro lisovací kontejner

Lisovací kontejner		
Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Pořizovací cena	400 000	[Kč]
Servis	5 000	[Kč/rok]
Opravy	10 000	[Kč/rok]
Správní režie	5 000	[Kč/rok]
Provozní režie	3 000	[Kč/rok]
Neočekávané náklady	5 000	[Kč/rok]

## INNOFREIGHT Speditions GmbH

Rakouská společnost Innofreight Speditions GmbH přináší značně flexibilní a jednoduché řešení pro transport sypkých materiálů. Jedná se o speciální výsypné kontejnery, které v kombinaci s otočným manipulátorem disponují jednoduchou funkcí vysypání. Společnost Innofreight předmětné kontejnery flexibilně přizpůsobila logistice, jak v rámci železniční dopravy, tak i v rámci dopravy silniční. K dispozici je rozsáhlý sortiment kontejnerů, avšak v práci bylo nutné dodržet jednoznačný parametr, tj. uzavřený kontejner pro transport a manipulaci s komunálním odpadem. S přihlédnutím k tomuto požadavku bylo uvažováno o třech druzích kontejnerů společnosti Innofreight [26].

- Innofreight WoodTrainer XS.
- Innofreight WoodTrainer XL.
- Innofreight WoodTrainer XXL.

Všechny výše zmíněné kontejnery obsahují speciální víko tzv. hardtop, které je možno během manipulace odstranit. Dále je nutné zmínit, že tato rakouská společnost disponuje kromě patentovaných kontejnerů i patentovanou nakládací a vykládací technikou.



**Obr. 15 - Vykládka kontejneru Innofreight WoodTainer XXL [27]**

### **Innofreight WoodTainer XS [28]**

Jedná se o nejmenší kontejner společnosti Innofreight, který je určen pro těžké sypné komodity s možností rotační vykládky v objektu budovy a víkem typu hardtop.

Technické data kontejneru XS:

- Objem kontejneru 24 m<sup>3</sup>.
- Rozměry 2 900 x 2 900 x 3 271 mm (výška x šířka x délka).
- Hmotnost 2,1 t.
- Maximální nosnost 21 t.



**Obr. 16 - Kontejner Innofreight WoodTainer XS [29]**

### **Innofreight WoodTainer XL [30]**

- Objem kontejneru 38 m<sup>3</sup>.
- Rozměry 2 438 x 2 900 x 6 096 mm.
- Hmotnost 2,7 t.
- Maximální nosnost 23 t.



**Obr. 17 - Kontejner Innofreight WoodTainer XL [31]**

#### **Innofreight WoodTainer XXL [32]**

- Objem kontejneru 46 m<sup>3</sup>.
- Rozměry 2 900 x 2 900 x 6 096 mm.
- Hmotnost 2,9 t.
- Maximální nosnost 23 t.



**Obr. 18 - Kontejner Innofreight WoodTainer XXL [33]**

Jak vyplývá z výše uvedených technických informací, lze reálně konstatovat, že se jedná o flexibilní kontejnerový systém, který je vhodný pro dopravu komunálního odpadu.

Mezi hlavní výhody tohoto systému patří především:

- Stohovatelný systém až ve třech vrstvách.
- Zefektivnění kombinované dopravy, tj. železnice a silnice.
- Efektivní a jednoduchá vykládka, především u nejmenší varianty WoodTainer XS.
- Využití víka hardtop.
- Voděodolná konstrukce.

Ekonomická rozvaha proběhla po konzultaci s odborníky z Pražských služeb a.s., přičemž základní finanční rozvahu pro Innofreight kontejnery lze nalézt v tab. 10.

**Tab. 10 - Základní finanční rozvaha pro Innofreight kontejnery**

Innofreight kontejnery				
Charakteristika	XS	XL	XXL	Jednotka
Požizovací cena	250 000	300 000	320 000	[Kč]
Servis	5 000	5 000	5 000	[Kč/rok]
Opravy	5 000	7 000	7 000	[Kč/rok]
Správní režie	5 000	5 000	5 000	[Kč/rok]
Provozní režie	3 000	3 000	3 000	[Kč/rok]
Neočekávané náklady	5 000	5 000	5 000	[Kč/rok]

### 3.5. Manipulační technika

Volba správného druhu a typu manipulátoru je velmi obtížná. Současný trh v oblasti manipulátorů, předních nakladačů a ostatní manipulační techniky je značně rozsáhlý, proto je zapotřebí velmi racionálně hledat vhodný manipulátor právě pro uvažované použití. Dále je nutné pečlivě zvážit i finanční hledisko, protože manipulační techniku lze nakoupit za ceny od stovek tisíc až po několik desítek milionů korun. A tento parametr značně ovlivní rentabilitu výsledných ekonomických návrhů.

V předmětném modelu je nutné použít dva základní typy manipulátorů:

- Přední nakladač.
- Těžký manipulátor pro zvedání, respektive stohování kontejnerů.

Vzhledem k problematickému určení ceny a veškerých provozních nákladů je finanční hledisko manipulátorů vztaženo na hodinovou taxu, která je známa pod pojmem motohodina. Pro představu vycházíme z investic 1 000,- Kč až 2 500,- Kč za mth v závislosti na volbě a výkonu daného manipulátoru.

### 3.6. Adaptéry pro čelní nakladače

Adaptéry pro čelní nakladače slouží k manipulaci a nakládce komunálního odpadu na překladišti do předem určených kontejnerů. Veškeré namáhané části těchto adaptérů jsou vyrobeny z vysoko pevnostních a otěruvzdorných materiálů typu HARDOX 450. Jsou schváleny TUV CZ a mají označení CE. Použité břity jsou indukčně kalené a mají stejnou tvrdost v celém průřezu. Lžice jsou na své zadní straně ve spodní části a horní části vyztuženy a závěsy pro čelní nakladač jsou navařeny na tyto výztuhy. Konstrukční typ lžice je vždy upraven tak, aby byl co největší objem a co nejmenší výška z důvodu bezpečného výhledu v závislosti na rypné síle. Vzhledem k velké různorodosti adaptérů, budou zmíněny pouze základní charakteristiky viz tab. 11, přičemž detailnější rozpracování je možné nalézt v příloze 1.

**Tab. 11 - Základní charakteristiky pro velkoobjemové lžíce**

<b>Velkoobjemové lžíce</b>		
<i>Charakteristika</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<b>Standardní lopata zesílená na zemní práce</b>		
Objem lžíce	1; 1,5	[m <sup>3</sup> ]
Hmotnost	500, 650	[Kg]
Šířka lžíce	2,4 - 2,5	[m]
Cena	od 49 000	[Kč]
Vhodnost	do 1,8	[t/m <sup>3</sup> ]
<b>Standardní lopata na lehké hmoty</b>		
Objem lžíce	2; 2,5; 3; 4	[m <sup>3</sup> ]
Hmotnost	680, 730, 850, 1 100	[Kg]
Šířka lžíce	2,4 - 2,5	[m]
Cena	od 53 000	[Kč]
Vhodnost	do 1	[t/m <sup>3</sup> ]
<b>Standardní lopata zemědělská</b>		
Objem lžíce	2; 2,5	[m <sup>3</sup> ]
Hmotnost	700, 800	[Kg]
Šířka lžíce	2,4 - 2,5	[m]
Cena	od 55 000	[Kč]
Vhodnost	do 1,1	[t/m <sup>3</sup> ]
<b>Verze lopaty zemědělské a lehčí zemní práce</b>		
Objem lžíce	1,7	[m <sup>3</sup> ]
Hmotnost	800	[Kg]
Šířka lžíce	2,4 - 2,5	[m]
Cena	od 60 000	[Kč]
Vhodnost	do 2	[t/m <sup>3</sup> ]

Veškeré velkoobjemové lžíce je možné osadit speciálními břity, jak šroubovanými, tak i podvařenými. Příslušenství a detailní rozpracování velkoobjemových lžic viz příloha 1.

### 3.7. Lisovací a překládací stanoviště

Lisovací zařízení (dále jen „LS“) slouží k lisování SKO do speciálních přípojných lisovacích kontejnerů. Lisovací zařízení je stacionární systém, který pomocí násypky a posuvného pístu (beranu) tlačí odpad do kontejnerů. Po nalisování dochází k automatickému uzavření kontejnerů a odpojení. Následně je kontejner připraven k odvozu do spalovny. Součástí každého LS je velín, váha a pojízdný systém pro výměnu kontejnerů.

V ČR je lisovací zařízení součástí překládací stanice nebo součástí sběrných dvorů. Tato kombinace je budována z důvodu ekonomické stránky věci, protože v ČR je relativně malá zpracovatelnost SKO a kombinace dvou zařízení se jeví jako perspektivní investiční záměr

v oblasti nakládání s odpady. Z tohoto důvodu převažuje v ČR myšlenka pro budování komplexních prostor pro zpracování odpadů na jednom místě.

Jako ukázkový příklad komplexních prostor lze uvést překladiště společnosti Pražské služby, a.s., kde lisovací zařízení je součástí sběrného dvoru a je zde nepřetržitý, celodenní návoz odpadu, jak na lisování, tak i do sběrných kontejnerů.

Při definici vlastního návrhu zařízení bude vycházeno z již zrealizovaných překládacích stanic, které jsou v plném provozu. V tomto případě bude uvažován pozemek o minimální výměře 1 000 m<sup>2</sup> a požadována ekonomicky rentabilita v závislosti na využití lisovacího zařízení. Zvolený pozemek bude zcela dostačující pro plnění zvolené funkce. Optimální rozvržení překladiště je uvažováno následovně:

- Lisovací zařízení s nájezdovou rampou a železničními pojezdy pro snadnou výměnu kontejnerů – cca 150 m<sup>2</sup>.
- Velín pro obsluhu lisovacího centra – cca 20 m<sup>2</sup>.
- Automobilní váha – cca 20 m<sup>2</sup>.
- Volně ložené kontejnery – cca 100 m<sup>2</sup>.
- Prostory pro manipulaci s kontejnery a cesty – cca 700 m<sup>2</sup>.

V případě, že bude nutné zvolit kombinované centrum, tj. lisovací zařízení, sběrný dvůr a třídící linky, je třeba vybrat pozemek o minimální výměře 4 000 m<sup>2</sup>. Odhadované požadavky na vybudování překladiště pak budou následující:

- Lisovací zařízení s nájezdovou rampou a železničními pojezdy – cca 150 m<sup>2</sup>.
- Velín pro obsluhu lisovacího centra – cca 20 m<sup>2</sup>.
- Automobilní váha – cca 20 m<sup>2</sup>.
- Kontejnery na různý druh odpad – 15 kontejnerů – cca 300 m<sup>2</sup>.
- Hlavní budova – cca 40 m<sup>2</sup>.
- Volně ložené kontejnery – cca 300 m<sup>2</sup>.
- Stavební odpady – cca 100 m<sup>2</sup>.
- Objemný odpad – cca 150 m<sup>2</sup>.
- Prostory pro manipulaci s kontejnery a cesty – cca 2 000 m<sup>2</sup>.
- Třídící linka – cca 1 000 m<sup>2</sup>.

V obou výše zmíněných příkladech je nutno přizpůsobit zvolené pozemky jednoduché a snadné manipulaci s objemnými kontejnery, aby pro řidiče nákladních aut byla tato manipulace pohodlná a především časově nenáročná.

V závislosti na těchto okolnostech je nutné, aby uvažovaný pozemek byl oplocen, zpevněn, respektive provedeny terénní úpravy a měl centrální vstup do objektu formou brány či alespoň závory. Zpevněný pozemek je nutností zejména v přechodovém období, tj. jaro a podzim, kdy dochází k častým změnám počasí, které mohou mít negativní vliv právě při manipulaci s lisovacími kontejnery.

Pro stanovení realizace lisovacího zařízení je důležité limitovat základní pořizovací náklady. Tento odhad byl vytvořen z již zrealizovaných projektů a veřejně dostupných zdrojů v rámci ČR. Uvažovaná kalkulace je pouze pro lisovací zařízení.

**Tab. 12 - Základní parametry pro lisovací zařízení**

Lisovací zařízení			
Charakteristika	LS small	LS XL	Jednotka
Příkon lisovacího zařízení	15	20	[kWh]
Pořizovací náklady na lisovací zařízení	5 000 000	10 000 000	[Kč]
Investice spojené s opotřebením lisu	88 000	132 000	[Kč/rok]
Správní režie	30 000	30 000	[Kč/rok]
Provozní režie	35 000	35 000	[Kč/rok]

Konkrétní praktické příklady v ČR lze nalézt např. v Chomutově nebo v Praze [34].

### 3.8. Hrubá mzda

Mzdové náklady jsou v technicko-ekonomickém modelu stanoveny pro následující pracovní pozice, tj.:

**Tab. 13 - Hrubé mzdové náklady**

Mzdové náklady		
Pozice	Hrubá mzda	Jednotka
Řidič	150	[Kč/hod]
Obsluha	120	[Kč/hod]
Pomocná síla	100	[Kč/hod]
Obsluha lis	130	[Kč/hod]

Každá výše zmíněná pracovní pozice je ohodnocena odlišnou hodinovou mzdou. Při stanovení mezd bylo vycházeno z průměrných celorepublikových hodnot a především z autorova náhledu na danou problematiku. Vzhledem k tomu, že výši ročních mezd je nutné zahrnout do ročních fixních nákladů, je zcela relevantní uvažovat mzdu superhrubou, která je složena následovně: měsíční hrubá mzda je povýšena o 26 % sociálního pojištění a o 9 % zdravotního pojištění. Celkově tedy superhrubá mzda je o 35 % povýšená hrubá mzda [35].

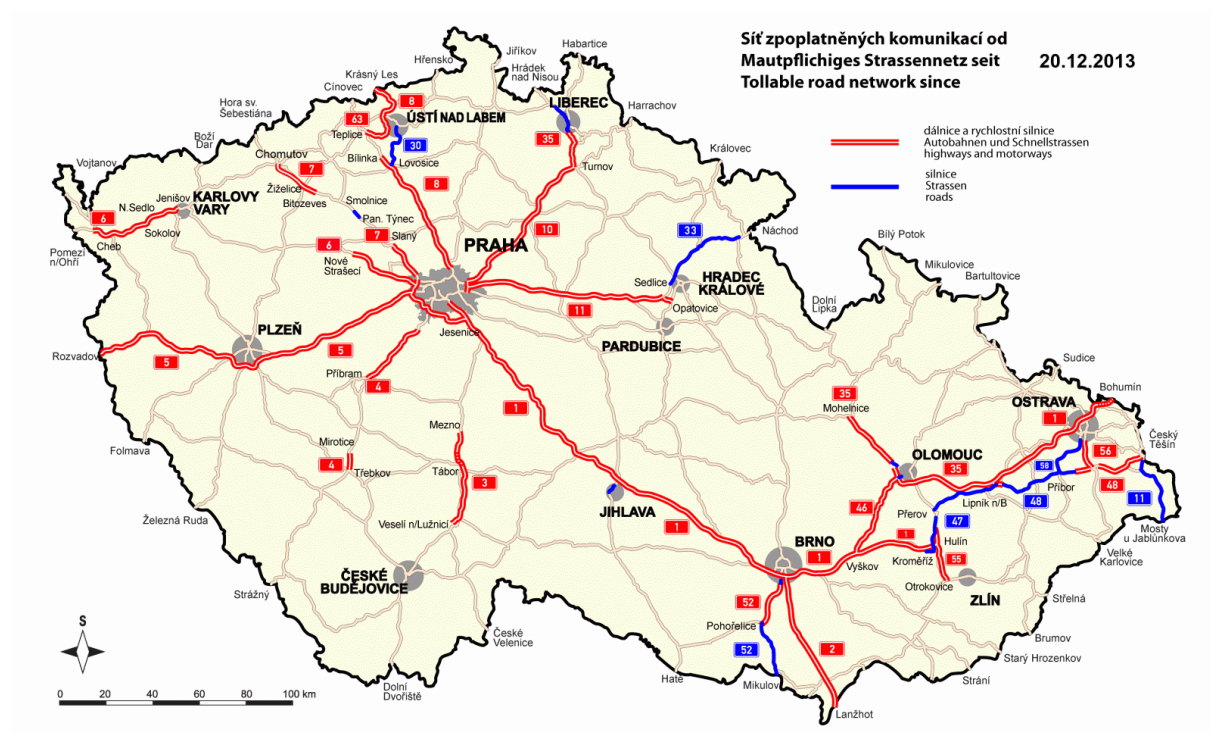
### 3.9. Mýtné

Mýtné nebo mýto je správní poplatek, který se vybírá za použití dálnice, silnice I. třídy, mostu nebo v tunelu. Výši mýtného stanovuje každoročně nařízení vlády ČR, přičemž nákladní vozidla, která platí zákonné mýtné při využití výše zmíněných cest, jsou povinna disponovat speciálním elektronickým zařízením - **jednotkou Premid** [36], která kontroluje a vypočítává výši mýtného při průjezdu mýtných bran. Cena mýtného se odvíjí od počtu



náprav vozidla a dané emisní třídy. Dále jsou rozdíly i v dnech, kdy nákladní automobil využívá zpoplatněné komunikace.

Komunikace, které jsou v ČR zpoplatněny, jsou zobrazeny na obr. 19.



Obr. 19 - Sít' zpoplatněných komunikací od 20. 12. 2013 [37]

Ceny mýtného za kilometr jsou uvedeny v tab. 14 a tab. 15 [38].

Tab. 14 - Cena mýtného - pátek

Mýtné sazby pro nákladní automobily v pátek od 15:00 do 21:00 pro rok 2013 (v Kč/km)									
Emisní třída	Euro 0 - II			Euro III - IV			Euro V+		
Počet náprav	2	3	4+	2	3	4+	2	3	4+
Dálnice a rychlostní komunikace	4,24	8,10	11,76	3,31	6,35	9,19	2,12	4,06	5,88
Silnice I. Třídy	2,00	3,92	5,60	1,56	3,06	4,38	1,00	1,96	2,80

Tab. 15 - Cena mýtného - ostatní dny

Mýtné sazby pro nákladní automobily pro ostatní dobu v týdnu pro rok 2013 (v Kč/km)									
Emisní třída	Euro 0 - II			Euro III - IV			Euro V+		
Počet náprav	2	3	4+	2	3	4+	2	3	4+
Dálnice a rychlostní komunikace	3,34	5,67	8,24	2,61	4,45	6,44	1,67	2,85	4,12
Silnice I. Třídy	1,58	2,74	3,92	1,23	2,14	3,06	0,79	1,37	1,96



Slevy na mýtném lze nalézt v tab. 16 [39].

**Tab. 16 - Slevy na mýtném**

<b>Slevy na mýtném rok 2013 a další</b>	
Uložené mýtné (Kč)	Výše slevy (%)
100 000	5
150 000	8
250 000	11
400 000	13

S přihlédnutím k obr. 19 je nutné zmínit, že v současné době nejsou zpoplatněny všechny úseky dálnic, rychlostních komunikací a silnic první třídy. Do budoucna je zcela reálné, že veškeré výše zmíněné úseky budou zpoplatněny po celé délce. Z tohoto důvodu a především při budoucím využití je důležité se seznámit se silniční sítí v ČR [40].

**Tab. 17 - Silniční síť v ČR v roce 2014**

<b>Kilometrové a procentuální zohlednění</b>			
Dálnice	765	1,38 %	12,46 %
Rychlostní silnice	385	0,69 %	
Silnice I.	5 782	10,39 %	
Silnice II.	14 536	26,13 %	87,54 %
Silnice III.	34 169	61,41 %	
<b>Celkem</b>	<b>55 638</b>	<b>100,00 %</b>	

Úseky, které podléhají platbě mýtného, jsou dálnice, rychlostní silnice a silnice I. třídy. Z tab. 17 je patrné, že počet budoucích placených úseků v ČR se bude pohybovat kolem cca 12,5 % z celkové silniční sítě. Avšak je nutné přihlédnout k okolnostem svozu a reálného využití silničních sítí v ČR, proto z tohoto důvodu lze do budoucna odhadovat průměrné využití zpoplatněných komunikací až ve výši 80 % z celkového ročního počtu nájezdových kilometrů. Takto vysoké procentuální využití vyplývá především z využitelnosti silniční sítě – pro představu je uvedena tab. 18, která definuje svoz odpadu v rámci hlavního města Prahy. Při tak velkém využití mýtného systému, lze reálně uvažovat o navýšení roční investice pro nákladní auto až o 250 000 Kč. Detailnější zpracování silniční sítě v jednotlivých krajích je k dispozici v příloze č. 3.

Vzhledem k tomu, že mýtný systém je značně nelineární parametr a nelze jej chápat jako kilometrový variabilní náklad. Z tohoto důvodu je nutné mýtný systém zahrnout do výpočtu jako další vstupující parametr, který bude vždy stanoven individuálně pro konkrétní trasu (hranu). Jako příklad je uvedena tab. 18 charakterizující pokročilé síťování a procentuální zohlednění úseků, které podléhají platbě mýta. Toto síťování využívá systém NERUDA, který je aktivně vyvíjen na ÚPEI – síťování je popsáno v rámci motivačního příkladu v kapitole 5.

Výchozí bod byl stanoven v Praze, Řeporyjích a z tohoto místa byly vytvořeny cesty do blízkého okolí podle definované hustoty sítě. Trasy byly rozděleny na dálnici, silnici I. až III. třídy a ostatní komunikace. Sloupec - Placené úseky - procentuálně vymezuje využitě placené úseky. Jak již bylo zmíněno, v ČR se nachází 12,5 % dálnic, rychlostních silnic a silnic I. třídy z celkové infrastruktury, ale reálná využitelnost je daleko vyšší. Samozřejmě je nutné přihlídnout k faktu, že hlavní bod je v Praze, kde jsou značně rozšířeny kvalitnější silniční sítě, a tedy je logické, že podléhají nebo v budoucnu podléhat budou platbě mýta.

**Tab. 18 - Ukázka pokročilého síťování, při výpočtu mýta v systému NERUDA**

Vzdálenost [km]	Čas trasy [hod]	Z místa	Do místa	Dálnice [km]	1. třída [km]	2. třída [km]	3. třída [km]	Ostatní [km]	Placené úseky
55	0:39	Praha, Řeporyje	Benešov	52	-	0,7	1,5	0,8	94,55 %
26	0:20		Beroun	22,8	-	0,6	0,3	2,3	87,69 %
14	0:20		Černošice	4,4	-	8	1,5	0,1	31,43 %
45	0:31		Dobříš	32,1	9,1	2,2	1,5	0,1	91,56 %
28	0:22		Kladno	15,5	9,9	0,7	0,2	1,7	90,71 %
36	0:41		Kralupy nad Vltavou	9	2,5	10,8	7,7	6	31,94 %
54	0:44		Lysá nad Labem	41,1	-	5	1,5	6,4	76,11 %
44	0:46		Neratovice	15,3	20,5	2	-	6,2	81,36 %
56	0:42		Rakovník	40	-	15,5	-	0,5	71,43 %
33	0:25		Říčany	26,8	-	3,5	0,7	2	81,21 %
77	0:56		Sedlčany	40,1	33,1	0,2	3,6	0	95,06 %
35	0:28		Slaný	26	2,8	0,4	3,2	2,6	82,29 %
111	1:06		Humpolec	106	2	-	1,5	1,5	97,30 %
145	1:42		Chotěboř	106	22,8	14,5	1,5	0,2	88,83 %
113	1:24		Pacov	81	-	29	1,5	1,5	71,68 %
123	1:13		Pelhřimov	121	-	-	1,5	0,5	98,37 %
111	1:23		Světlá nad Sázavou	108	-	0,5	1,5	1	97,30 %

V současné době nelze očekávat radikální změny v oblasti zpoplatnění silniční sítě v ČR. Nutné je připomenout rok 2016, kdy končí licenční smlouvy současného provozovatele mýtného systému, tj. firmě Kapsch. Z tohoto důvodu se již nyní diskutuje o budoucích reálných změnách. Momentálně se uvažuje o pěti variantách, kterými jsou [41]:

- Ponechání současného stavu mýtného systému, tj. zpoplatnění sítě viz obr. 19.
- Rozšíření o silnice první třídy o cca dalších 1 000 km, které jsou nejvyužívanější.
- Zpoplatnění celkové sítě silnic první třídy.
- Zpoplatnění celkové sítě silnic první třídy a vybraných úseků silnic druhé a třetí třídy.
- Kompletní zpoplatnění celé silniční sítě v ČR.

#### 4. Matematický model optimalizace vozového parku

Matematický model byl vytvořen v programu Microsoft Excel 2010. Model je značně obsáhlý, protože bylo třeba zohlednit dílčí kategorie nezbytné pro reálné svozové možnosti. Základní charakteristiky byly popsány v předešlé kapitole s názvem technicko-ekonomický model, který definoval jednotlivé proměnné důležité pro navazující využití. Základní myšlenková rekapitulace výstupů v závislosti na jednotkách byla provedena v tab. 19 a tab. 20.

**Tab. 19 - Myšlenková rekapitulace fixní a variabilní náklady**

Myšlenková rekapitulace výstupů - fixní a variabilní náklady	
Automobily, přívěsy, WF, kontejnery	
Fixní náklady [Kč/rok]	Variabilní náklady [Kč/km]

**Tab. 20 - Myšlenková rekapitulace výstupů ostatní**

Rekapitulace výstupů	
Manipulátor	Převod ceny na mth [Kč/mth]
Velkoobjemová lžice	
Mzdové náklady	Roční náklady [Kč/rok]

Dále došlo k vytvoření dílčích možných variant, kterých bylo hypoteticky přibližně 200. Z nichž některé byly technicky neschůdné jako např. nakládka systému WF pomocí nejmenší lžice aj. Za pomoci definovaných pravidel byly tyto varianty vyseparovány. Následovaly varianty, které byly ekonomicky nevýhodné. Finálně bylo využito cca 15 variant, které byly využity ve finálním výpočtu. Tab. 21 definuje základní prvky, které byly vybrány, jak po technické stránce, tak i ekonomické stránce věci, jako nejvhodnější. Z těchto prvků byly složeny za dodržení technických možností požadované varianty.

**Tab. 21 - Svozové varianty**

Nejvhodnější varianty			
-	Nelisovaný odpad	Lisovaný odpad	Označení
Auto	Nákladní automobil ∨ auto s hákem ∨ tahač	Nákladní automobil ∨ auto s hákem	A
Přívěs, návěs	Walking Floor ∨ dvounápravový ∨ třínápravový	Dvounápravový ∨ třínápravový	B
Kontejner	Innofreight kontejnery XS ∨ XL ∨ XXL	Lisovací kontejner	C
Manipulátor	Nakladač ∨ Stohovací manipulátor	Stohovací manipulátor	D
Lžice	2,5 m <sup>3</sup>	Ne	-

Pomocí nástroje řešitele byly implementovány v programu MS Excel reálné podmínky, které byly zohledněny ve výpočtu. Jednalo se především o časové cykly manipulátorů, časovou charakteristiku v oblasti dopravy, atd. Matematicky model optimálního složení vozového parku je popsán v rovnicích 1 až 6.

A	množina typů nákladních automobilů
B	množina typů přívěsů
C	množina typů kontejnerů
D	množina nakladačů
g	koeficient udávající schopnost manipulace manipulátoru s kontejnerem
h	přepravní nosnost
I	investiční náklady
k	koeficient udávající maximální počet kontejnerů, které se dají přepravovat na autě a přívěsu
L	množina kontejnerů
M	pomocné veliké číslo
m	množství
N	provozní náklady
o	počet operací pro jednu smyčku
p	kapacita překládací stanice
s	počet smyček
t	čas jednotkové operace
T	celkový čas na provoz
u	vzdálenost překládací stanice od místa konečného zpracování a zpět
$\varepsilon$	manipulace s přívěsem během jedné smyčky
$\pi$	průměrné zdržení přepravy na 1 km

Rovnice 1 definuje základní účelovou funkci, tj. součet investičních a provozních nákladů.

$$\min z = I + N.$$

Rovnice 2 definuje investiční náklady formou součtu nákladů v oblasti definovaného vozového parku a svozové varianty.

$$I = \sum_{a \in A} I_a \cdot m_a + \sum_{b \in B} I_b \cdot m_b + \sum_{c \in C} I_c \cdot m_c + \sum_{d \in D} I_d \cdot m_d.$$

Omezující podmínky definuje rovnice 3.

$$m_a, m_b, m_c \in \mathbb{N}^0, m_d \in \{0, 2\}.$$

Rovnice 4 definuje provozní náklady formou počtu operací na jednu smyčku.

$$N = \sum_{a \in A} N_a \cdot O_a + \sum_{b \in B} N_b \cdot O_b + \sum_{c \in C} N_c \cdot O_c + \sum_{d \in D} N_d \cdot O_d.$$

Rovnice 5 charakterizuje technické omezení, tj. počet kontejnerů na autě či soupravě.

$$\begin{aligned} \sum_{a \in A} \sum_{c \in C} k_{a,c} \cdot m_c + \sum_{b \in B} \sum_{c \in C} k_{b,c} \cdot m_c &\leq \sum_{a \in A} m_a + \sum_{b \in B} m_b, \\ \sum_{d \in D} M \cdot m_d \cdot g_{c,d} &\geq m_c, g_{c,d} \in \{0,1\}, \\ \sum_{c \in C} m_c \cdot h_c \cdot s &\geq p. \end{aligned}$$

Rovnice 6 stanovuje časové omezení pro denní počet cyklů v závislosti na pracovní době.

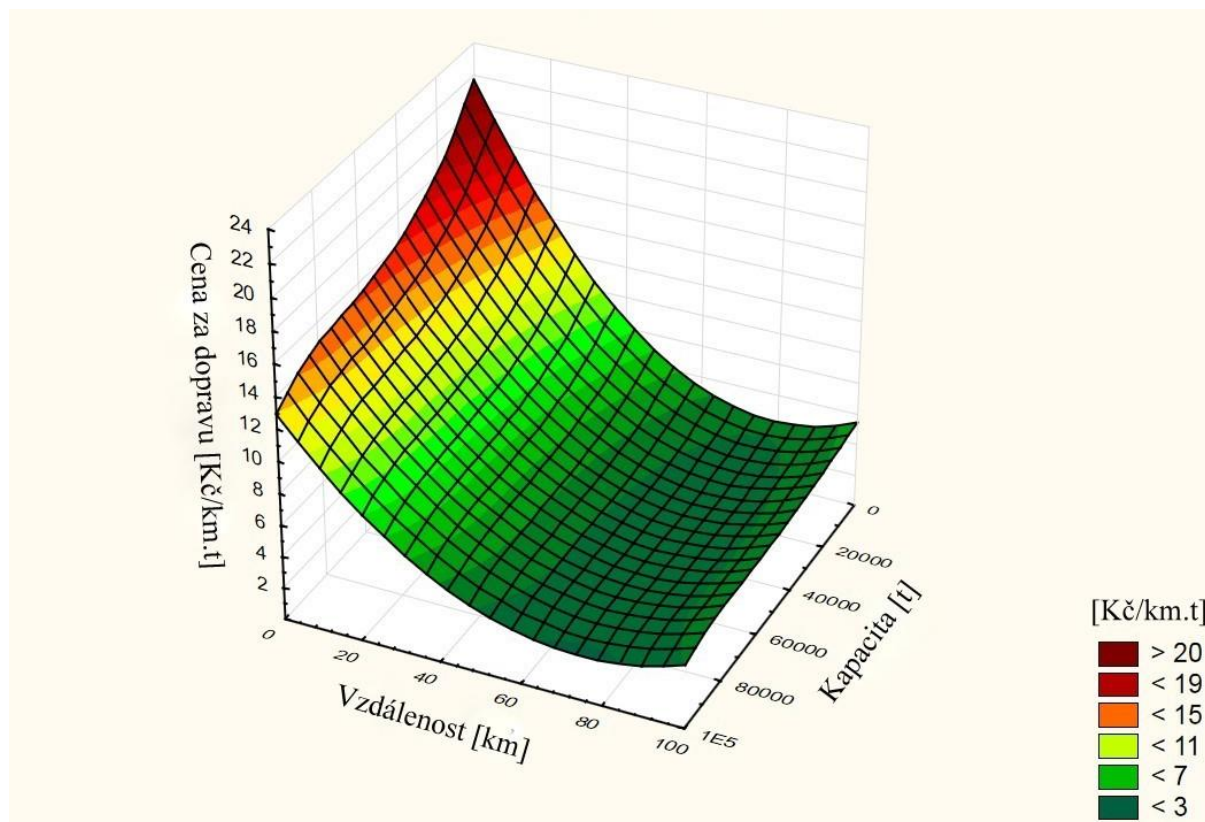
$$\sum_{a \in A} u \cdot (t_a + \pi_a) \cdot s + \sum_{b \in B} (u \cdot t_b + \varepsilon_b) \cdot s + \sum_{c \in C} t_c \cdot m_c \cdot s + \sum_{c \in C} \sum_{d \in D} m_c \cdot t_d \cdot g_{c,d} \cdot s \leq T.$$

Matematický model se aplikoval pro několik scénářů vstupních parametrů (vzdálenost a kapacita) a dopočítával parametr dopravy, tj. dopravní náklady - Kč/km·t. Výpočet byl stanoven pro roční množství odpadu od 10 kt do 100 kt a v dopravě na vzdálenost až 100 km. Výsledky byly vypsány a vytvořeny grafy pro dopravní náklady v závislosti na kapacitě, vzdálenosti. Výpočet ceny na 1 km je stěžejním údajem pro budoucí optimalizační výpočet, který je využit v programu GAMS (viz dále kapitole 5). Grafy byly vytvořeny v programu Statistica 12.

#### 4.1. Analýza výsledků s cílem definovat reálné varianty svozu nelisovaného odpadu

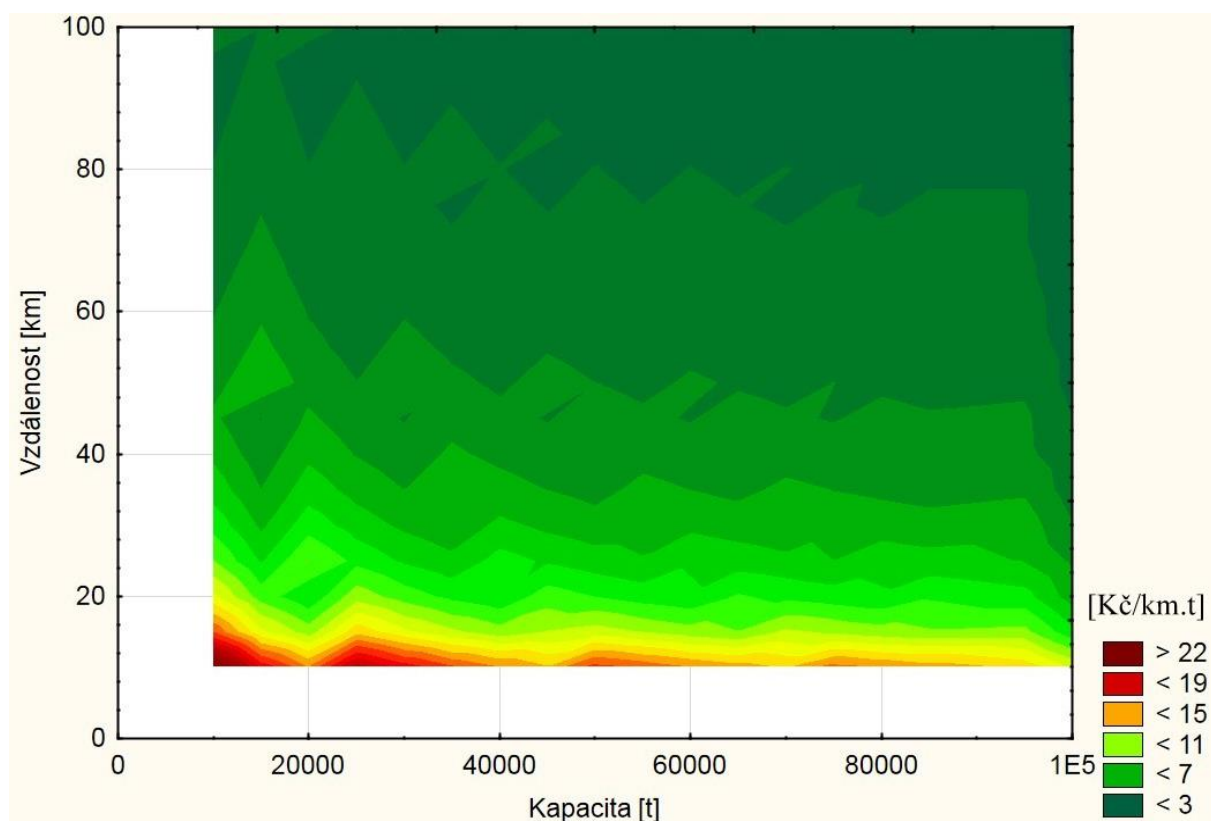
Lze konstatovat, že svoz nelisovaného odpadu z hlediska možnosti využití manipulátorů, kontejnerů, automobilů a ostatních relevantních parametrů může být velice obsáhlý. Z toho důvodu bylo hledáno optimální složení dopravního systému tj. nákladní automobily, přívěsy, návěsy, kontejnery, manipulátory aj., s ohledem na omezení viz technicko-ekonomický model kapitola 3. Cílem bylo minimalizovat náklady spojené s přepravou odpadu.

Nástroj vybral pro definovanou kombinaci vstupů (vzdálenost, kapacita) ekonomicky nejvhodnější systém a pro něj byly vyčísleny dopravní náklady. Obr. 20 – 22 uvádí základní charakteristiky pro svoz nelisovaného odpadu v závislosti na ceně za dopravu na jeden kilometr, při dopravě jedné tuny odpadu.



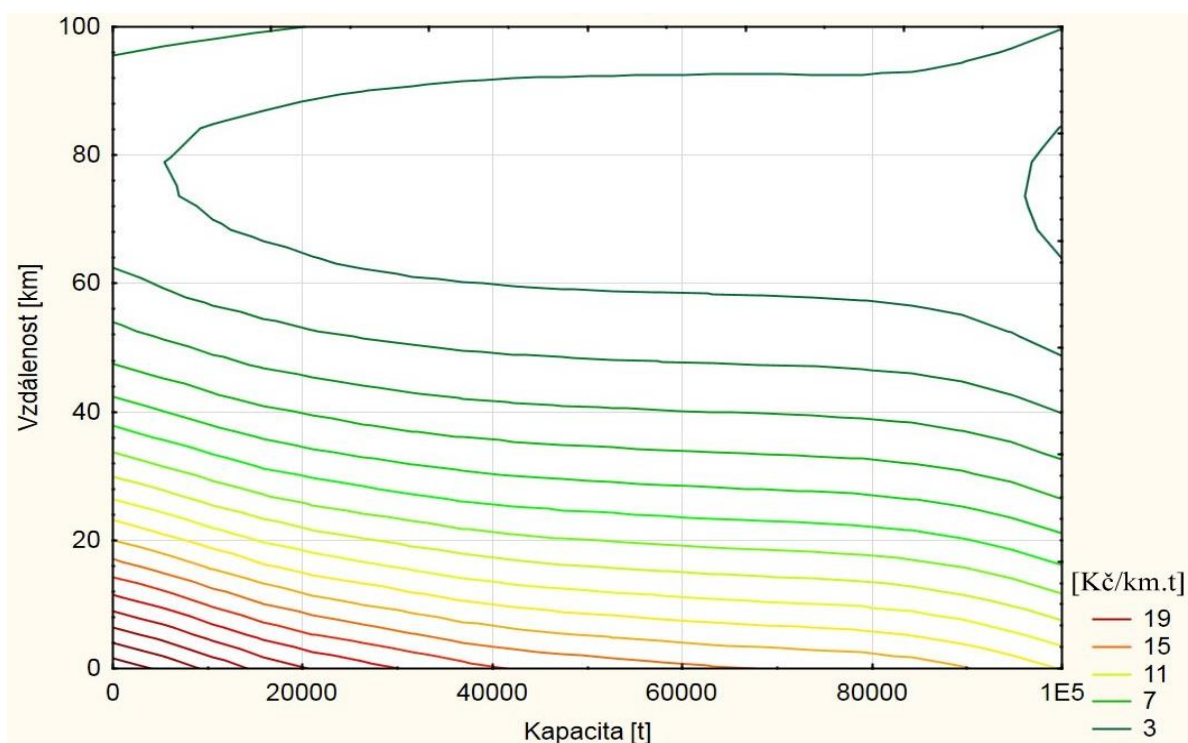
Obr. 20 - Cena za dopravu - nelisovaný odpad

Následuje obr. 21, který definuje Wafer plot, využívající barevné kódování pro vykreslení výsledků. Jedná se o třírozměrný graf charakterizující výši cenu dopravy ve formě barevného spektra. Z obr. 21 vyplývá, že ekonomicky zajímavé jsou vzdálenosti od cca 20 km a více, kdy se cena za dopravu pohybuje kolem cca 10 Kč. Při vzdálenosti cca 60 km jsou náklady na dopravu tuny odpadu na kilometr již kolem cca 5 Kč. Tedy s rostoucí vzdáleností klesá cena za přepravovanou tunu odpadu.



**Obr. 21 - Cena za dopravu - Nelisovaný odpad - Wafer plot**

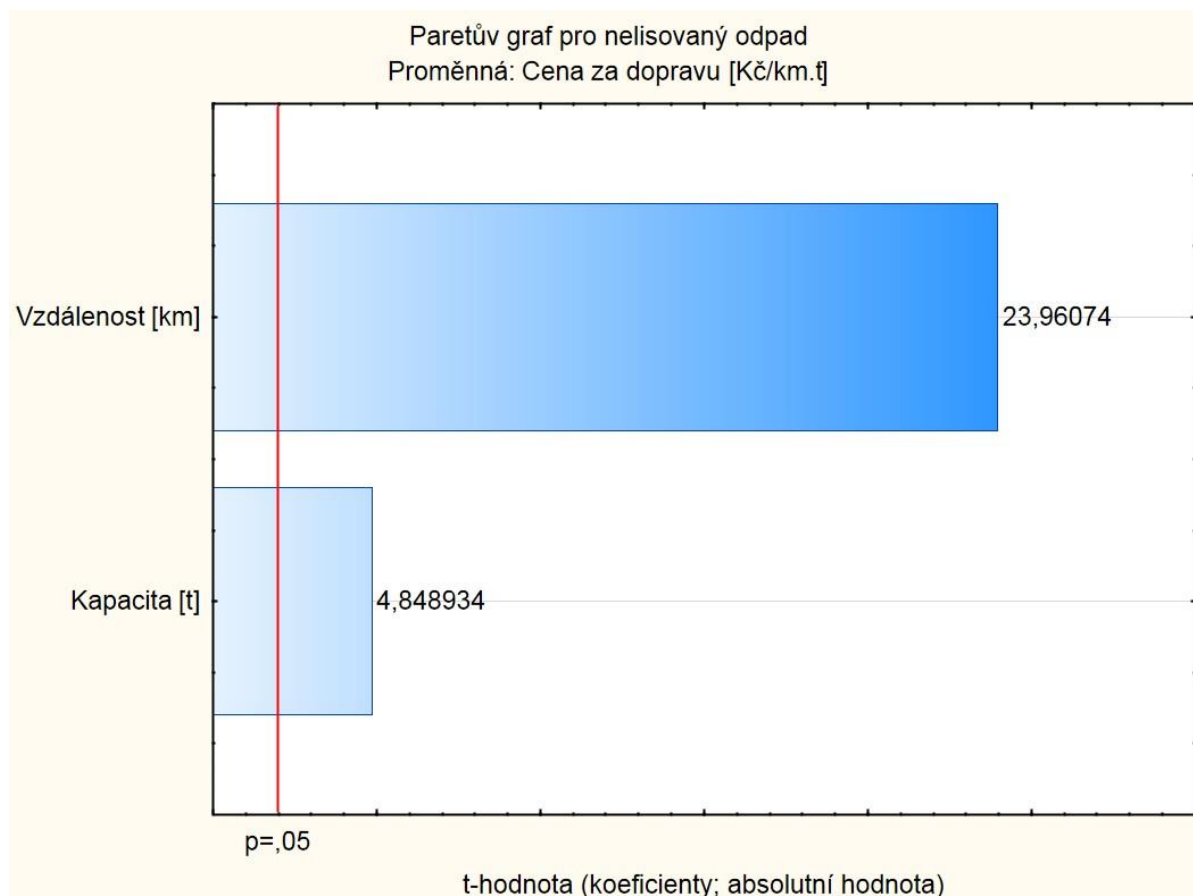
Další možností vykreslení dopravních nákladů je využití vrstevnicového grafu, který pracuje se třemi proměnnými (dvě nezávislé a jedna závislá) viz obr. 22. Jedna proměnná je vynesena na horizontální ose (kapacita – nezávislý parametr), druhá na vertikální ose (vzdálenost – nezávislý parametr) a třetí proměnná je charakterizována čarami se stejnou hodnotou (cena za dopravu – závislý parametr). Vrstevnicový graf je možné využít pro rychlé a pohodlné odečtení ceny.



**Obr. 22 - Cena za dopravu - Nelisovaný odpad - Vrstevnicový graf**

Pro kvalitativní vyhodnocení významnosti uvažovaných vstupních (nezávislých) parametrů, tj. vzdálenost a kapacita. Je možné využít Paretův diagram. Hranice (zvýrazněna na obr. 23) ukazuje mez na hladině významnosti –  $p = 0,05$ . Parametry, které překonají tuto mez, jsou v modelu určující cenu za přepravu statisticky významné. Z obr. 23 lze dovodit, že nájezdová vzdálenost je značně důležitý parametr a hraje v oblasti svozu nelisovaného odpadu relevantní důležitost. Oproti tomu kapacita je výrazně méně významný parametr.

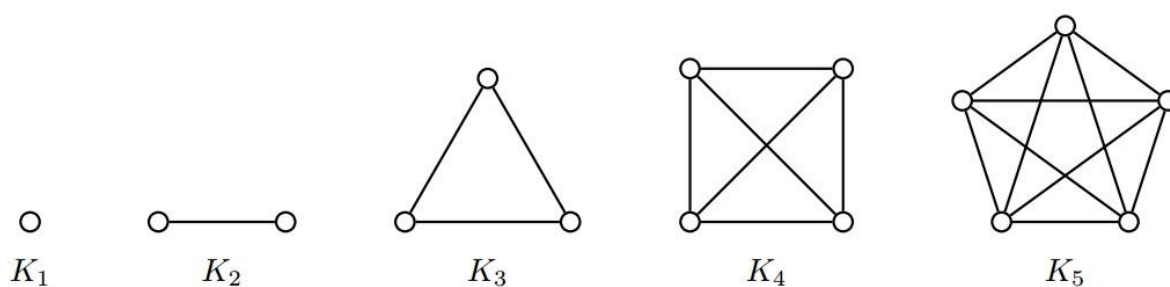




**Obr. 23 - Cena za dopravu - Nelisovaný odpad - diagram důležitosti**

Aplikovatelnost výstupu této práce bude vhodnou pomůckou pro výpočtový nástroj NERUDA, který je charakteristický minimalizací dopravních nákladů. Jedná se o princip transportní úlohy, která optimalizuje cenu dopravy za definovaných parametrů. Předmětná práce bude mít značný přínos při implementaci proměnné ceny za dopravu a z toho důvodu je nutné zachovat její linearitu při výpočtu a především **odůvodnit zanedbání kapacity**. V závislosti na splnění tohoto požadavku bude cena za dopravu zahrnuta do ocenění hran. Za předpokladu, že by cena vstupovala do úlohy jako nelineární, tj. byla by závislá na kapacitě (hledaná proměnná ve výpočtu NERUDA) výpočtová náročnost úlohy by se značně zvýšila. Celková úloha by se stala nelineární a bylo by velmi obtížně zaručeně nalézt požadovaný globální extrém. Proto kapacita nevystupuje v regresní funkci pro lisovaný ani nelisovaný odpad. Zanedbání kapacity bude využito i v motivačním příkladu pro nelisovaný odpad viz kapitola 5.1.

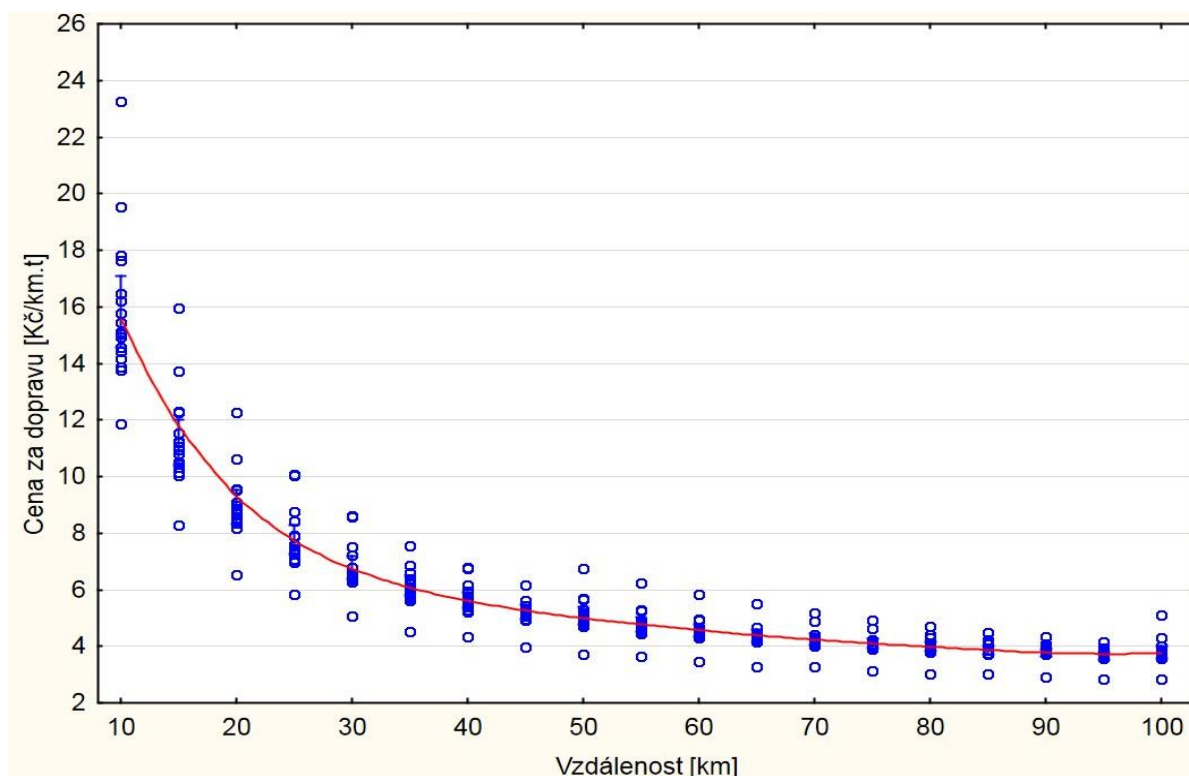
Dalším důležitým krokem je využití tzv. **pokročilého síťování**, které využívá systém NERUDA pro popsání konkrétní lokality formou dopravní sítě, tj. stanovení velkého množství hran a uzlů, které je požadováno pro konkrétní oblast. Dopravní síť transformovat do podoby kompletních grafů viz obr. 24 a aby bylo reálně možné spojit každý uzel s každým uzlem pomocí definovaných hran.



Obr. 24 - Kompletní grafy [46]

Ocenění hran tj. cena dopravy mezi jednotlivými uzly, je tedy stanovena před samotným výpočtem NERUDY pouze ze závislosti na nájezdové vzdálenosti. Vzniklá chyba je s ohledem na významnost parametrů „kapacity“ akceptovatelná (viz Paretův diagram, obr. 23), při zachování linearity celkového výpočtu optimalizace v oblasti koncepčního plánování odpadového hospodářství. Toto ocenění hran je velmi důležitý parametr, protože při velmi hustých sítích je délka hran, tj. nájezdová vzdálenost daleko důležitější než v případě motivačního příkladu, kde vzdálenosti jsou velké a cena je totožná.

Obr. 25 definuje základní charakteristiku vývoje ceny v závislosti na ujeté vzdálenosti. Cenové rozptyly jsou vykresleny pro kapacitní návozy od 10 kt/r do 100 kt/r. Největší cenové rozptyly jsou při menším kilometrovém nájezdu, tj. do cca 20 km.



Obr. 25 - Interval spolehlivosti pro nelisovaný odpad

Pro odhad byla použita mocnina funkce, která svým tvarem umožňuje vhodné proložení a charakterizuje průměrné hodnoty ceny dopravy. Koeficienty regresní funkce byly získány metodou minimalizace odchylek čtverců a vytvořena konkrétní rovnice pro nelisovaný odpad, která je ve tvaru:

$$y = 2,381 + 138,083 \cdot x^{-1,015},$$

kde parametr  $x$  definuje ujetou vzdálenost.

#### 4.2. Analýza výsledků s cílem definovat reálné varianty svozu lisovaného odpadu

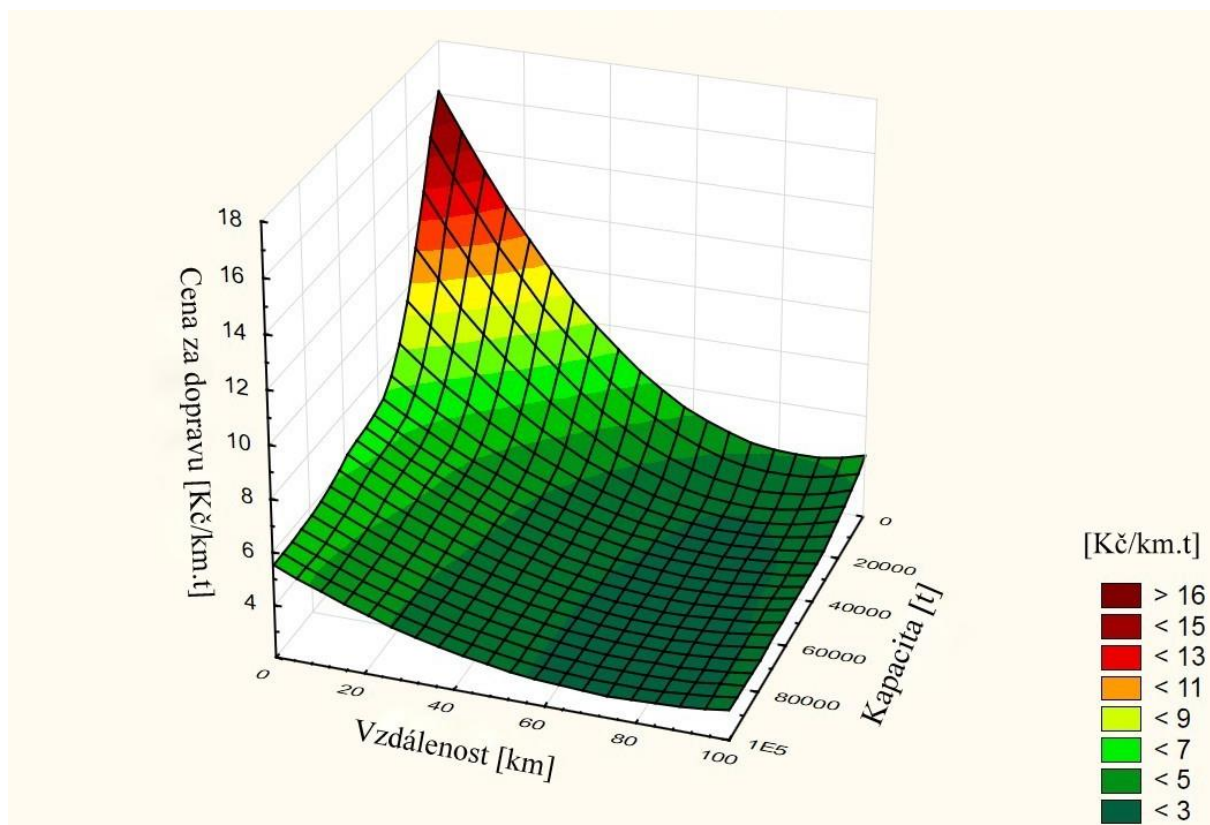
Pro reálnou svozovou charakteristiku v oblasti lisovaného odpadu jsou definované pouze dvě základní varianty, viz tab. 22.

**Tab. 22 - Varianty pro lisovaný odpad**

Lisovaný odpad		
-	Varianta 1	Varianta 2
Auto	Nákladní automobil	Auto s hákem
Přívěs, návěs	Dvounápravový, třínápravový	Dvounápravový, třínápravový
Kontejner	Lisovací kontejner	Lisovací kontejner
Manipulátor	Stohovací manipulátor	Ne
Lžice	Ne	Ne

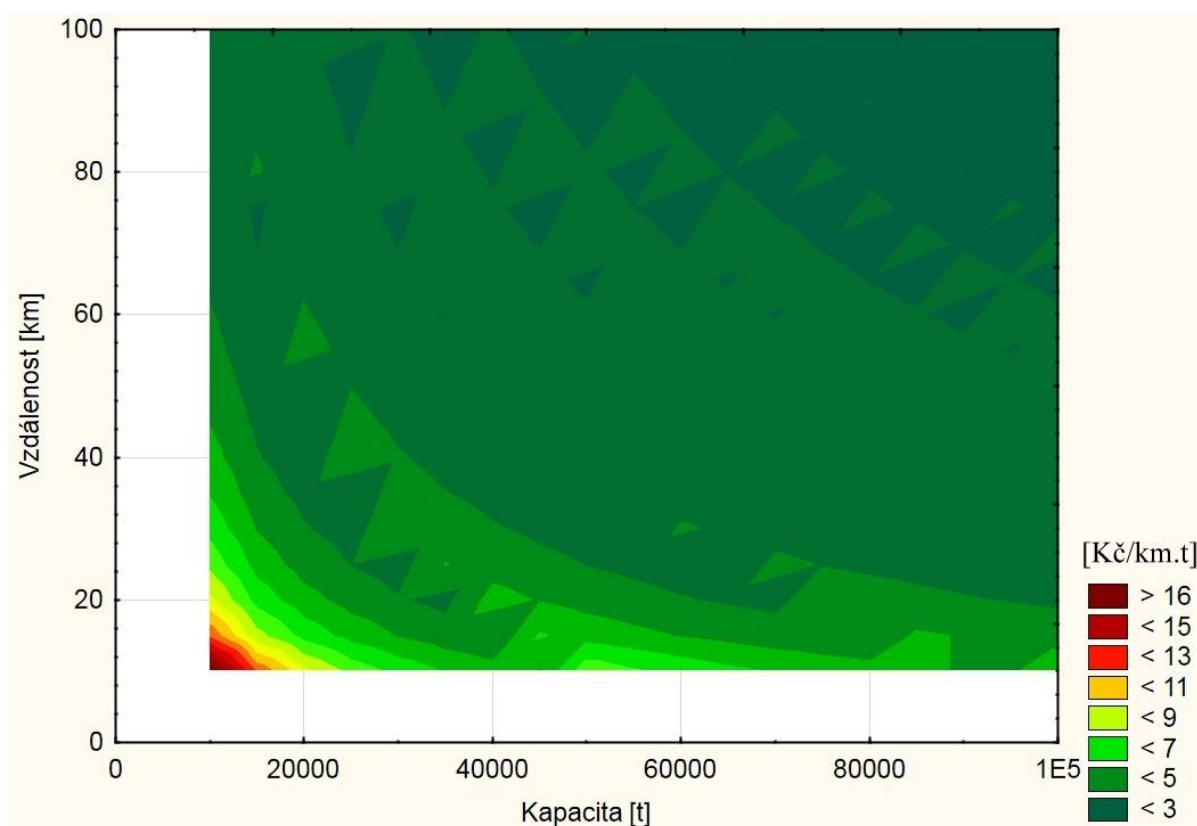
Z výše uvedené tabulky byly vytvořeny roční fixní náklady a kilometrové variabilní náklady pro obě varianty. Jednoduchým dosažením bylo zjištěno, že ekonomicky zajímavější je druhá varianta, kdy není nutné používat stohovací manipulátor, který první zvolenou variantu podstatně prodražuje. Tento fakt lze podložit tab. 6 a tab. 7, kde roční náklady za nákladní automobil jsou ekonomicky srovnatelné. Z tohoto důvodu je uvažována v oblasti lisovaného odpadu pouze druhá varianta – auta s hákem. Pro srovnání lze zmínit společnost Pražské služby, a.s., která využívá pro svoz nalisovaných kontejnerů právě a jen uvedenou variantu.

Výsledná cena přepravy lisovaného odpadu je vykreslena na obr. 26 a na obr. 27. Jedná se o závislost kapacity, vzdálenosti a ceny. Cena pro lisovaný odpad se pohybuje v rozmezí od cca 3 Kč do cca 18 Kč v návaznosti na využití vzdálenosti a potřebné kapacity viz obr. 26.



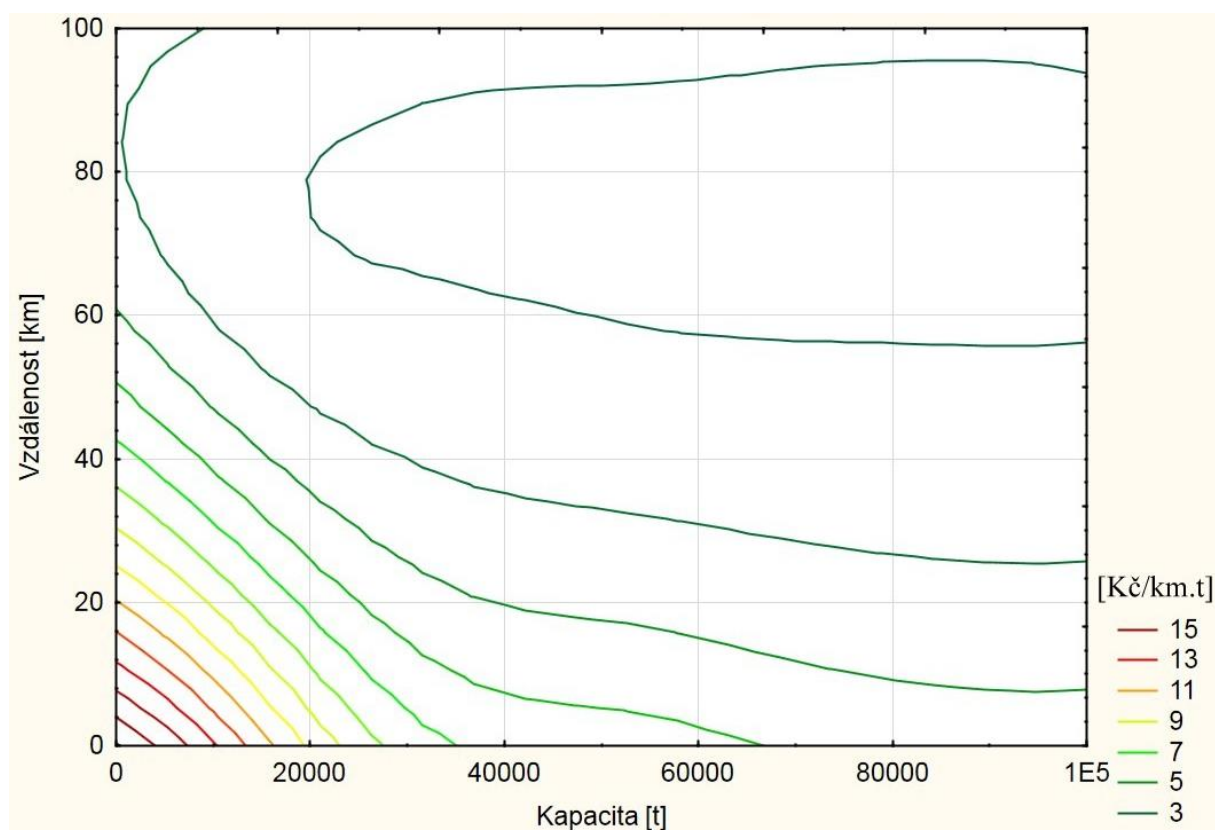
**Obr. 26 - Cena za dopravu - lisovaný odpad**

Z obr. 27 je patrné, že ekonomicky nejnáročnější jsou svozové úlohy na krátké vzdálenosti, tj. do cca 30 km a přepravované kapacitě cca 25 kt/r, kdy cena se pohybuje v rozmezí cca 10 až 18 Kč/km.t. Při větším nájezdu a odvezené kapacitě cena za přepravu razantně klesá.



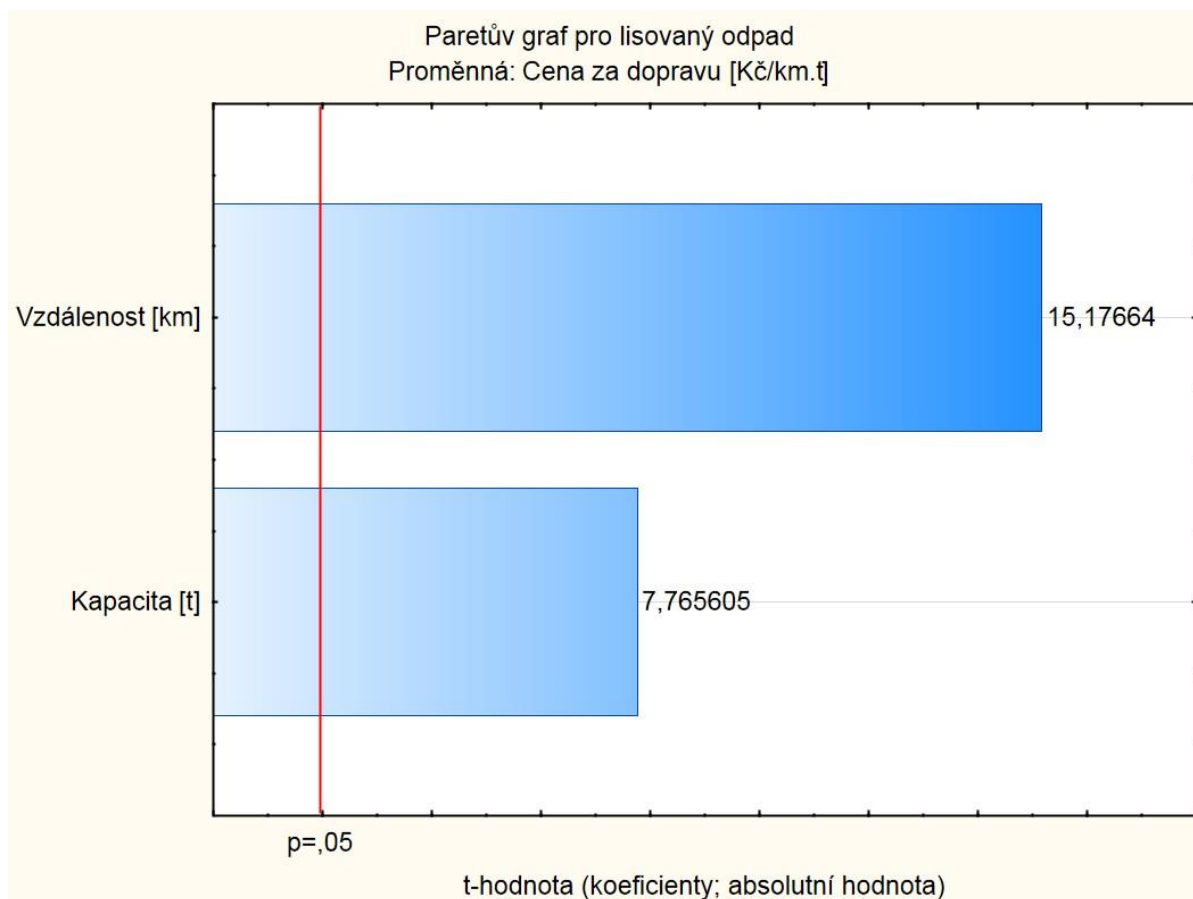
**Obr. 27 - Cena za dopravu - lisovaný odpad - Wafer plot**

Vrstevnicový graf pro lisovaný odpad je zobrazen na obr. 28, jak již bylo zmíněno v případě nelisovaného odpadu, vrstevnicový graf vykresluje závislost tří proměnných (dvou nezávislých a jedné závislé), kde závislá proměnná je charakterizována čarami se stejnou hodnotou (cena za dopravu).



**Obr. 28 - Cena za dopravu - lisovaný odpad - Vrstevnicový graf**

Dále je nutné zmínit obr. 29, který definuje důležitost jednotlivých proměnných v oblasti lisovaného odpadu. Významnější roli v úvahách lisovaného odpadu hraje vzdálenost, avšak vzdálenost zde není dominantní, jak je tomu u nelisovaného odpadu viz obr. 23. Pro aplikaci v nástroji NERUDA se kapacita zanedbává, stejně jako v případě u nelisovaného odpadu. Argumentace spojená se zanedbáním kapacity je odůvodněna u nelisovaného odpadu na str. 49.

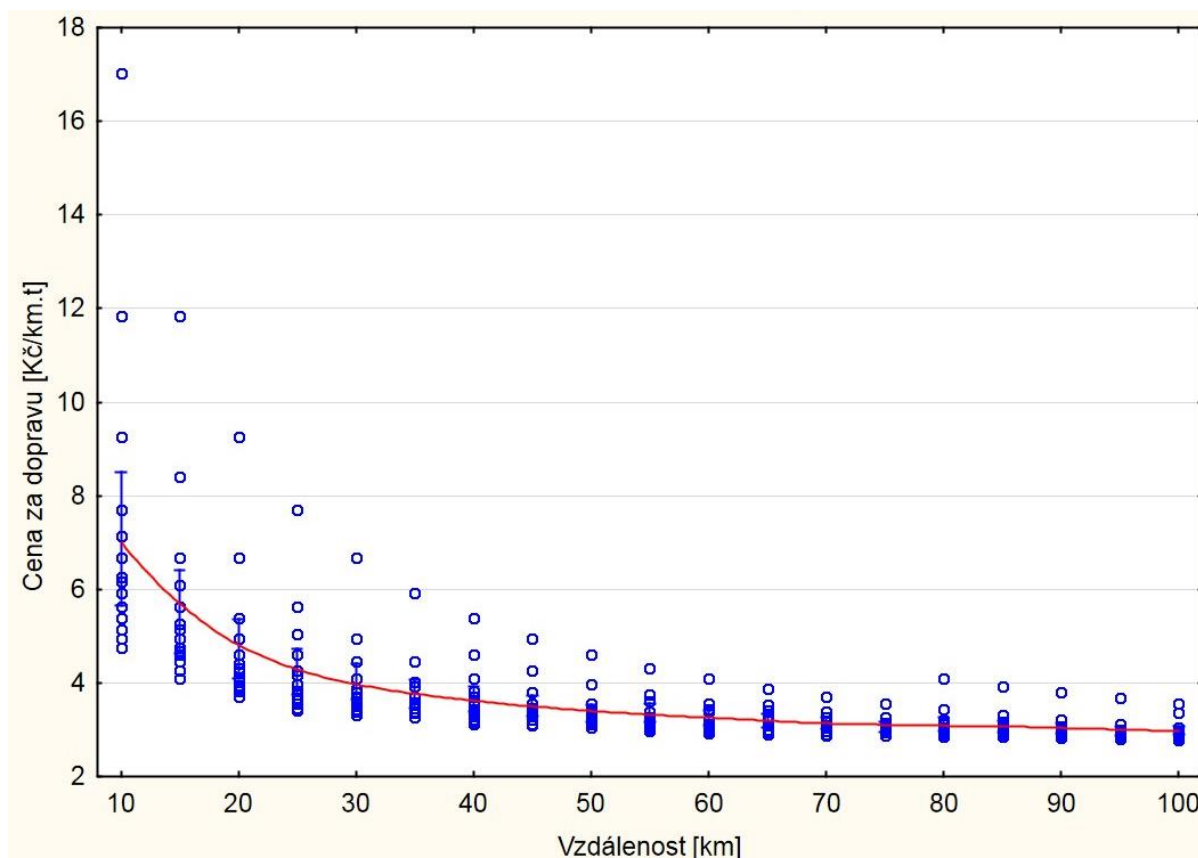


Obr. 29 - Lisovaný odpad - diagram významnosti

V této chvíli pro možnou aplikaci v rámci nástroje NERUDA bude aplikován stejný přístup odhadu ceny za přepravu jako u dopravy nelisovaného odpadu – bude se uvažovat pouze s nezávislým parametrem tj. vzdáleností. V další práci vývoje nástroje NERUDA bude nutné zpřesnit model dopravních nákladů u lisovaného odpadu.

Cenové rozptyly jsou v případě lisovaného odpadu větší, především při menší nájezdové vzdálenosti, tj. do cca 30 km než v případě nelisovaného odpadu. Z obr. 30 lze tyto rozptyly vyvodit a srovnat si je s rozptyly u nelisovaného odpadu viz obr. 25. Za předpokladu, že tyto dva grafy srovnáme lze konstatovat, že větší rozptyly jsou ovlivněny vstupující kapacitou, která v případě lisovaného odpadu je vyšší.





Obr. 30 - Interval spolehlivosti pro lisovaný odpad

Pro odhad byla opět použita mocninná funkce a výsledná regresní rovnice ceny za přepravu u lisovaného odpadu je následujícího tvaru:

$$y = 2,591 + 51,786 \cdot x^{-1,062},$$

kde parametr  $x$  definuje vzdálenost.

#### 4.3. Zajímavosti z řešení

Pro reálnou představu nákladů na dopravu lze v tab. 6 a tab. 7 nalézt základní strukturu a cenu vozového parku v přepočtu na Kč/km.t. Je možné konstatovat, že nejvyšší náklady na dopravu budou v případě minimálního využití vozového parku, tj. při malé nájezdové vzdálenosti a při nízké dopravované kapacitě. V opačném případě, tj. při nepřetržitém provozu nákladního automobilu během uvažované pracovní doby, budou kilometrové provozní náklady nejnižší.

V tab. 23 jsou zobrazeny výsledky uvažující roční kapacitu 75 kt na vzdálenost až 100 km. Pro srovnání je zohledňována nejnižší a nejvyšší hodnota svozových faktorů, tj. kapacita a vzdálenost. Důležité je zmínit, že s postupnou vzrůstající vzdáleností se aktivně rozšiřuje i vozový park, který je závislý na denních časových cyklech.



Tab. 23 - Lisovaný odpad - vozový park

Lisovaný odpad - Hákový nakladač			
Kapacita [t]	Vzdálenost [km]	Cena [Kč/km.t]	Počet aut [ks]
10 000	10	17,02	1
:	:	:	:
75 000	10	5,64	2
75 000	15	4,26	2
75 000	20	4,60	3
75 000	25	3,98	3
75 000	30	3,57	3
75 000	35	3,27	3
75 000	40	3,57	4
75 000	45	3,34	4
75 000	50	3,15	4
75 000	55	3,00	4
75 000	60	3,22	5
75 000	65	3,09	5
75 000	70	2,98	5
75 000	75	2,88	5
75 000	80	3,05	6
75 000	85	2,96	6
75 000	90	2,88	6
75 000	95	2,80	6
75 000	100	2,95	7
:	:	:	:
100 000	100	2,89	9

V tab. 24 lze nalézt zajímavé varianty, které byly zvoleny jako nejvhodnější pro danou vzdálenost a roční kapacitu. Celkové vyhodnocení zohledňuje pouze variantu s tahačem s využitím systému WF a nákladním automobilem s využitím kontejneru Innofreight XXL. Tato kombinace dvou systémů byla definována jako nejekonomičtější v závislosti na poměru investice a odvezené kapacity. Dále je nutné zmínit, že při optimalizaci vozového parku v určitých případech, bylo zohledněno, že nákup většího množství tahačů s WF systémem, není ekonomicky výhodný. Na základně ekonomické výhodnosti byla využita kombinace tahače a nákladního automobilu. V tab. 24 jsou zobrazeny dvě zajímavosti při kapacitě 55 a 75 kt/r. V případě dopravy 55 kt/r odpadu při nájezdové vzdálenosti 30 km bylo doporučeno využití jednoho tahače a dvou nákladních aut. Podobný případ byl definován při kapacitě 70 kt/r při nájezdu 55 km, kdy systém vybral dva tahače a tři nákladní automobily. Tento fakt je možný přisuzovat přepravované kapacitě, díky větší přepravní nosnosti je možné mít méně aut, které jsou ale obecně dražší.

**Tab. 24 - Nelisovaný odpad - vozový park**

Nelisovaný odpad									
Kapacita [t]	Vzdálenost [km]	Cena [Kč/km.t]	Tahač [ks]	Nákladní auto [ks]	Vlek 1 [ks]	Vlek 2 [ks]	Inn. XS [ks]	Inn. XL [ks]	Inn. XXL [ks]
10 000	10	23,28	1	0	0	0	0	0	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
55 000	25	7,09	3	0	0	0	0	0	0
55 000	30	6,52	1	2	0	2	0	0	4
55 000	35	6,27	4	0	0	0	0	0	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
70 000	50	4,73	5	0	0	0	0	0	0
70 000	55	4,61	2	3	0	3	0	0	6
70 000	60	4,54	6	0	0	0	0	0	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
100 000	100	2,84	11	0	0	0	0	0	0

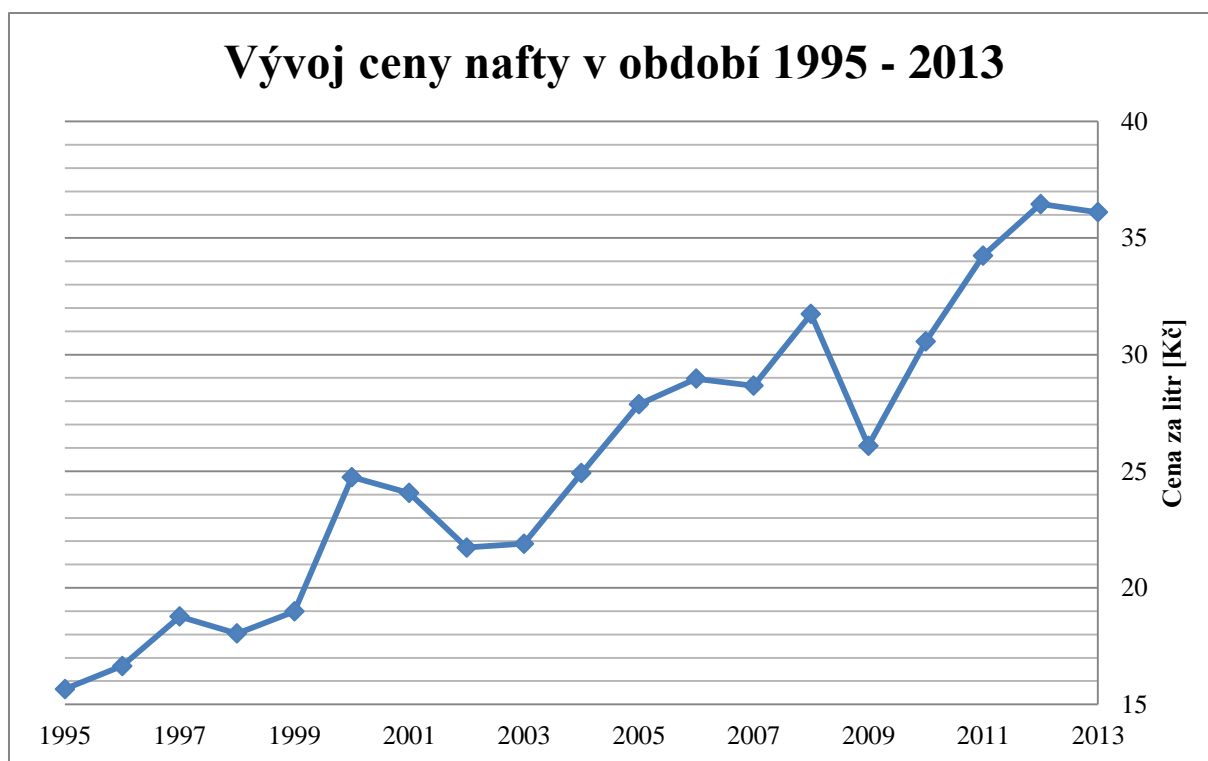
Důležité je zmínit, že v praxi se ve velké míře objevují kontejnery Innofreight WoodTainer XS, které nebyly definovaným systémem vybrány ani jednou. Tento fakt lze přisuzovat především poměru reálné kapacity jednoho kontejneru a pořizovacích nákladů, který je téměř dvounásobně finančně náročnější než v případě Innofreight WoodTainer XXL. Avšak je nutné zmínit, že kontejnery typu XS jsou daleko snazší pro manipulaci a následné vyprazdňování. Tedy volba v této kategorii záleží pouze na investici, zda se rozhodne využít menší kategorii XS nebo o polovinu levnější systém XXL. Úvaha je zobrazena v tab. 25 pro zjednodušení se jedná o sto operací za rok.

**Tab. 25 - Úvaha - Innofreight kontejnery**

Innofreight kontejnery				
Charakteristika	XS	XL	XXL	Jednotka
Životnost	8	8	8	[Roků]
Náklady roční	543	625	650	[Kč/rok - 100 operací]
Přepočet na tunu	91	66	57	[Kč/tun]

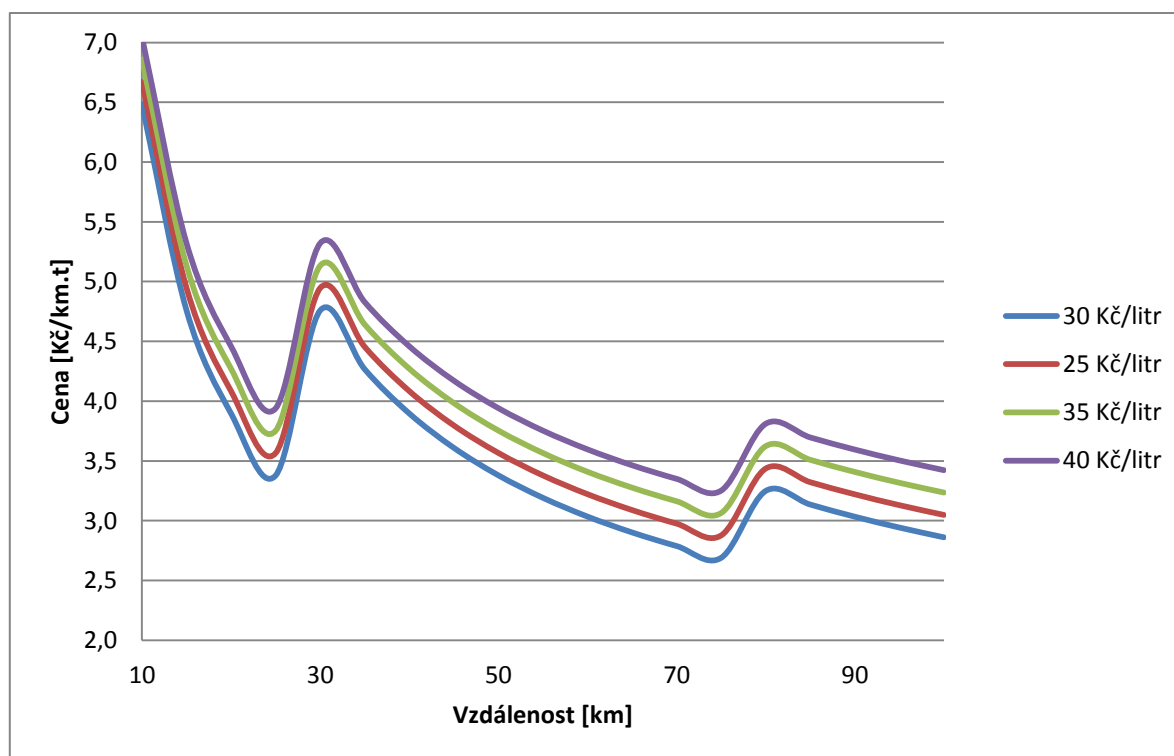
#### 4.4. Citlivost ceny přepravy v závislosti na ceně PHM

Predikovat vývoj ceny pohonných hmot je velmi obtížné. Z tohoto důvodu je možné na obr. 31 nalézt vývoj ceny nafty v ČR od roku 1995 do roku 2013 [42]. Je zřejmé, že se cena nafty za poslední 18 let razantně zvýšila. Z tohoto důvodu je nutné, aby byly zajištěny kontrakty s dodavatelem PHM, které dlouhodobě zvýhodňují společnost zajišťující logistické služby. Mezi tyto zvýhodňující podmínky, lze chápat stálou cenu PHM tj. v horizontu šesti měsíců nebo slevy pro nákup PHM. Tento parametr je velmi důležitý pro stanovení předpokládaného odhadu reálných investic a provozních nákladů na vozový park za fiskální rok.

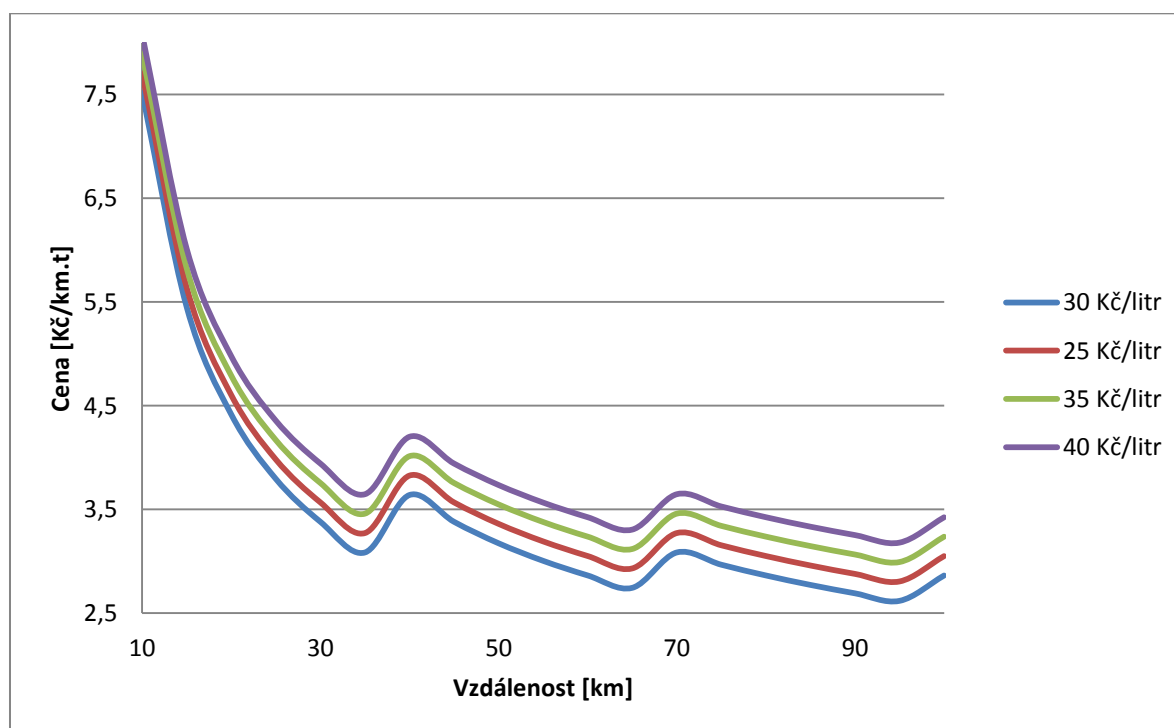


Obr. 31 - Vývoje ceny PHM

Citlivost byla provedena pro dopravu lisovaného odpadu z toho důvodu, že ekonomická citlivost bude v obou případech, tj. pro lisovaný i nelisovaný odpad totožná. Pouze počáteční částka se bude lišit, tj. náklady na přepravu pro lisovaný odpad budou nižší z důvodu menších počtů cyklů. Citlivost změny ceny PHM byla provedena pro celkovou škálu vzdáleností a kapacit. Na obr. 32 je možné nalézt základní charakteristiky. Skoky, které jsou charakteristické pro obr. 33, obr. 34 a obr. 35 jsou z důvodu nákupu více nákladních automobilů v závislosti na větším počtu nájezdových kilometrů, tj. aby byla časově splněna denní přepravovaná kapacita na danou vzdálenost – denní počet cyklů, které jsou limitovaný omezenou pracovní dobou.

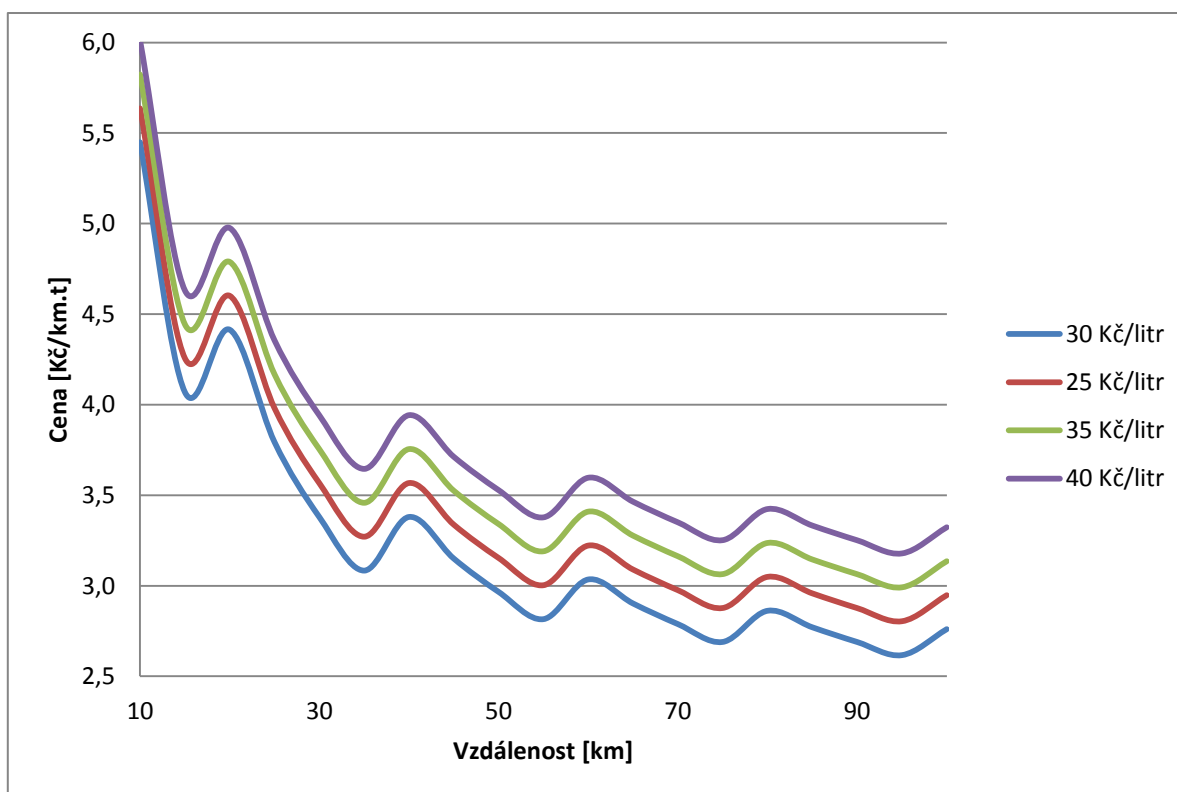


Obr. 32 - Citlivost ceny PHM - 30 kt

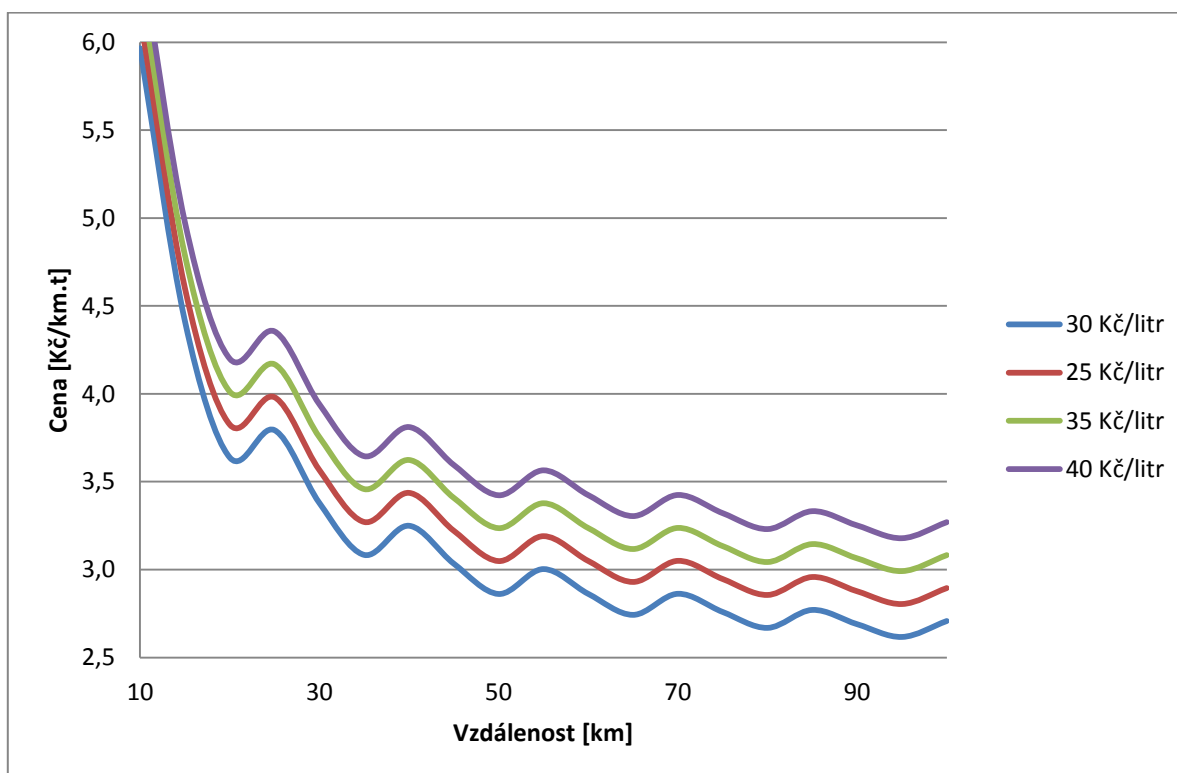


Obr. 33 - Citlivost ceny PHM - 50 kt

Obr. 34 a obr. 35 charakterizují dopravovanou kapacitu 75 a 100 kt, tj. jedná se o vysoké kapacity, které jsou v předmětné práci uvažovány. Z toho důvodu, lze dovodit, že cena za dopravu se často skokově mění. Tyto skoky jsou přisuzovány nutnému rozšíření vozového parku, které je nezbytné pro splnění dopravovaných kapacit na požadovanou vzdálenost.

**Obr. 34 - Citlivost ceny PHM - 75 kt**

Při dopravě 100 kt na vzdálenost 100 km viz obr. 35 je patrné, že je nejvíce hraničních vzdáleností, kde je nutné pořídit další nákladní automobil pro splnění požadované kapacity za definovaných podmínek.

**Obr. 35 - Citlivost ceny PHM - 100 kt**

Z výše uvedených obrázků lze konstatovat, že při maximálním rozdílu ceny nafty za litr, tj. cca 25 Kč až 40 Kč, je finanční rozdíl na 1 km přibližně cca 0,6 Kč/t.km. Tento rozdíl je však zcela nereálný v horizontu jednoho roku, jedná se o dlouhodobou predikci. Z tohoto důvodu je nutné srovnat reálnější hodnoty. Bude definován cenový rozdíl, kdy cena za litr PHM bude v rozmezí cen 29 Kč až 32 Kč bez DPH. Lze zcela jednoznačně konstatovat, že při rozdílu ceny 3 Kč je průměrný rozdíl v ceně dopravy cca 0,11 Kč, což lze chápat jako halířovou záležitost. Na druhou stranu, při ročním nájezdu automobilu 60 000 km a dopravě 20 t odpadu, se částka vyšplhá na hodnotu 135 000 Kč/rok. Z tohoto důvodu je nezbytné cenu PHM chápat jako relevantní vstupní parametr, který podstatnou měrou fakticky ovlivňuje provozní, tj. variabilní náklady.

## 5. The General Algebraic Modeling System

Aby bylo možné reálně simulovat a definovat organizaci dopravy, je nutné vybrat vhodný modelovací systém, který bude pro simulaci plně dostačující. Pro tyto účely byl vybrán matematický optimalizační systém GAMS, který je využit pro nástroj NERUDA [43] vyvíjený dlouhodobě na UPEI. Optimalizační systém GAMS pomocí zadaných syntaxí dokáže využít definované výstupy vytvořené v technicko-ekonomickém modelu v kapitole 3 a využije jej k optimalizačnímu modelování svozových a dopravních hledisek na definovaném území. Nástroj NERUDA lze charakterizovat jako transportní úlohu, kde hlavním cílem je **dosažení minimálních nákladů na zpracování odpadů**, podrobný popis nástroje je popsán v [43].

GAMS (The General Algebraic Modeling System) [44] je modelovací systém pro matematickou optimalizaci. Program je určen pro modelování a řešení lineárních, nelineárních a smíšených optimalizačních problémů. Systém je zcela komplexní nástroj pro vytvoření rozsáhlých modelových situací, které lze značně uživatelsky přizpůsobit zcela reálným situacím. GAMS je tvořen jazykem s velmi snadnou syntaxí umožňující základní programování, které je možno využít ve formě tvorby cyklů nebo určitých rozhodovacích podmínek.

Velkým pozitivem při práci s předmětným programem je možnost propojení se systémem Microsoft Office Excel. Toto je velmi přínosné především při přípravě vstupních dat a následné zpracování výsledků při řešení dopravní celorepublikové sítě.

GAMS je freewarový nástroj, který je možné stáhnout z oficiálních stránek, viz [www.gams.com](http://www.gams.com), avšak volná distribuce, tj. bez licence je omezena pouze na částečné množství uzlů, které bylo v případě motivačního příkladu zcela dostačující. Pro další aplikaci, tj. v NERUDOVÍ je nutné vzhledem k obsáhlosti úlohy, plná verze podmínkou.

## 5.1. Motivační příklad

S přihlédnutím ke skutečnosti, že modelovací systém GAMS může řešit optimalizaci organizaci dopravy, byl s jeho využitím vytvořen jednoduchý motivační příklad. Na něm lze ukázat elementární síťování České republiky na základě krajů, vytvoření základních bodů, uzlů a dalších potřebných údajů. Na ÚPEI je aktivně vyvíjen systém NERUDA, který principiálně pracuje velmi podobně, jak bude uvedeno v motivačním příkladu, avšak s daleko detailnější hustotou sítí v oblasti ČR.

V první řadě bylo potřeba sumarizovat základní dopravní údaje a množství komunálního odpadu v rámci České republiky. V motivační úloze bude uvažováno s průměrnou roční produkcí odpadu dle tab. 26.

**Tab. 26 - Produkce odpadu v krajích v rámci kalendářního roku [45]**

Charakteristika			Produkce komunálního odpadu v konkrétním roce [tis. t]									
<i>Uzly</i>	<i>Kraj</i>	<i>Správní město</i>	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	<i>Průměr</i>
A	Karlovarský	Karlovy Vary	143	114	114	125	155	95	139	144	147	131
B	Plzeňský	Plzeň	310	277	205	205	217	172	251	257	268	240
C	Jihočeský	České Budějovice	346	221	212	246	219	172	271	284	289	251
D	Vysočina	Jihlava	159	186	283	188	142	133	214	240	227	197
E	Jihomoravský	Brno	535	452	556	449	430	465	563	557	537	505
F	Zlínský	Zlín	211	202	195	214	197	178	246	260	262	218
G	Moravskoslezský	Ostrava	473	633	485	481	368	421	583	669	723	537
H	Olomoucký	Olomouc	199	263	219	253	204	203	301	294	344	253
I	Pardubický	Pardubice	163	173	173	195	167	192	239	259	245	201
J	Královéhradecký	Hradec Králové	202	236	215	193	178	159	243	311	234	219
K	Liberecký	Liberec	186	197	163	189	160	162	228	228	213	192
L	Ústecký	Ústí nad Labem	365	491	404	342	373	353	476	455	462	413
M	Středočeský	Praha	1 156	1 206	1 051	1 040	1 038	1 109	1 570	1 404	1 437	1 223
<b>Průměrná roční produkce KO v ČR</b>			<b>4 448</b>	<b>4 651</b>	<b>4 275</b>	<b>4 120</b>	<b>3 848</b>	<b>3 814</b>	<b>5 324</b>	<b>5 362</b>	<b>5 388</b>	<b>4 581</b>



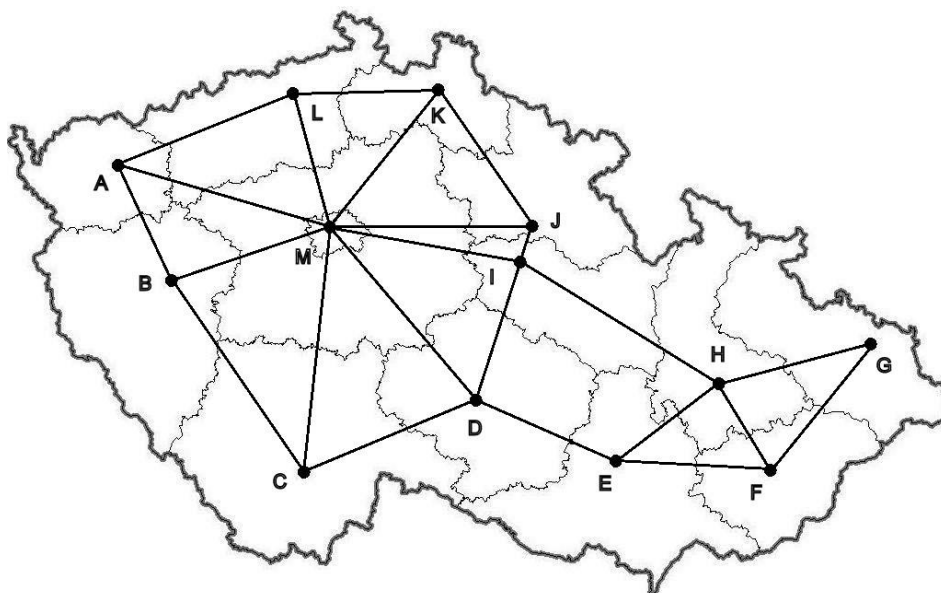
Dále bylo nutné stanovit základní svozové vzdálenosti mezi vybranými městy a tím vytvořit jednotlivé uzly a hrany. Uvažované vzdálenosti jsou uvedeny v tab. 27.

**Tab. 27 - Jednotlivé vzdálenosti mezi uzly**

-	Z místa	Do místa	Vzdálenost [km]	-	Z místa	Do místa	Vzdálenost [km]
1	A	B	85	24	H	E	80
2	A	L	125	25	H	I	140
3	A	M	130	26	I	H	140
4	B	A	85	27	I	D	95
5	B	M	100	28	I	J	30
6	B	C	140	29	I	M	125
7	C	B	140	30	J	I	30
8	C	M	150	31	J	M	120
9	C	D	130	32	J	K	100
10	D	C	130	33	K	J	100
11	D	M	130	34	K	M	115
12	D	I	95	35	K	L	100
13	D	E	95	36	L	K	100
14	E	D	95	37	L	M	90
15	E	H	80	38	L	A	125
16	E	F	100	39	M	A	130
17	F	E	100	40	M	B	100
18	F	H	70	41	M	C	150
19	F	G	105	42	M	D	130
20	G	F	105	43	M	I	125
21	G	H	100	44	M	J	120
22	H	G	100	45	M	K	115
23	H	F	70	46	M	L	90

Veškeré výše zmíněné údaje byly vloženy jako vstupy do programu GAMS:

- **Uzly** – charakterizovány písmeny A - M a definující krajská města.
- **Hrany** – vytvořeny trasy z jednotlivých uzlů, např. pro uzel G, jsou hrany G-H a G-F.
- Cena za kilometr – pro motivační řešení voleno 3 Kč.
- Produkce odpadu – průměrné roční množství odpadu v jednotlivých krajích spojeno do uzlu.
- Kapacita – volba spaloven, spalovna byla umístěna do uzlu M (Praha s kapacitou 2 100 kt/rok) a do uzlu H (Olomouc s kapacitou 1 900 kt/rok). Jedná se pouze v případě motivačního příkladu, kdy Praha reprezentuje agregovanou kapacitu v regionu Čechy a Olomouc agregovanou kapacitu v regionu Morava.
- Poplatek – definuje cenu odpadu na bráně za 1 t, který byl stanoven na částku pro Prahu 1 900 Kč a Olomouc 2 000 Kč.
- Vzdálenosti – podle internetových map stanoveny vzdálenosti jednotlivých hran dle tab. 27.
- Vytvořenou mapu s popisem základních uzlů a hran viz obr. 36.



Obr. 36 - Mapa ČR s jednoduchou sítí

V motivačním příkladu byla využita stejná cena za dopravu přes celkovou definovanou síť. Matematický model úlohy se tedy zjednoduší na následující účelovou funkci 1 a jedno omezení:

a	incidenční matice
c	kapacita
d	cena dopravy
i	uzel
j	hrana
O	produkce odpadu
P	poplatek na bráně
v	vzdálenost
x	množství odpadu

### Účelová funkce. 1 – Jednotná cena pro hrany

$$\min \sum_j d v_j x_j + \sum_i \sum_j a_{ij} x_j P_i^{EVO},$$

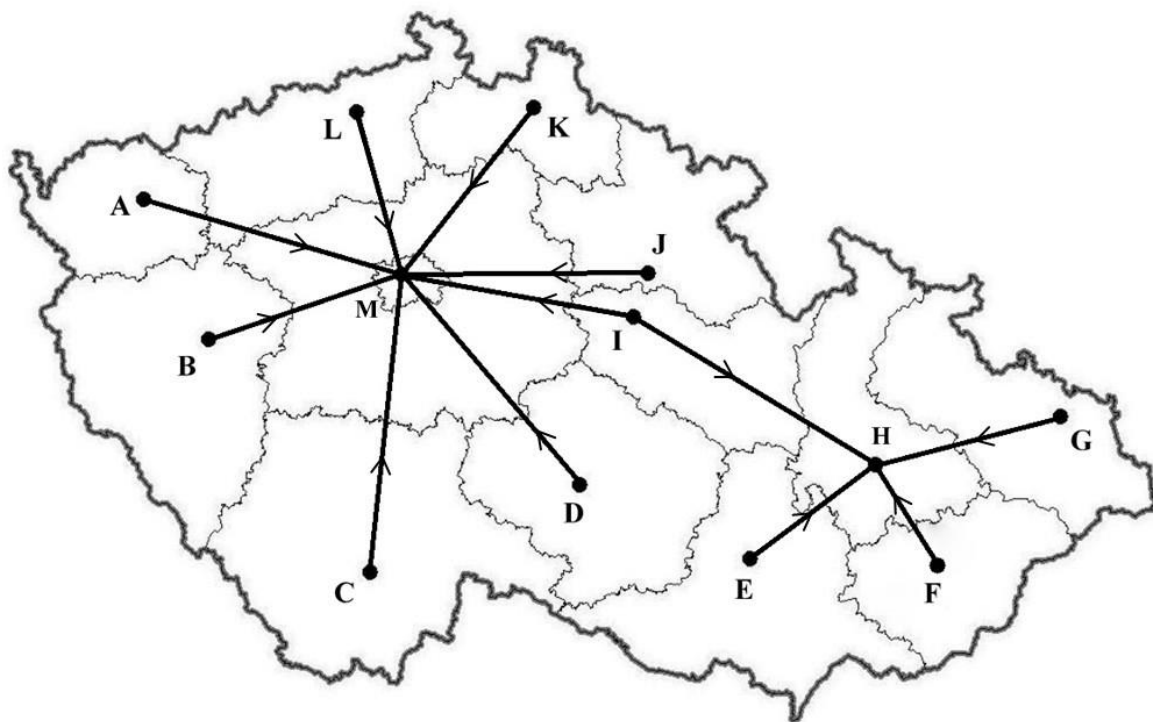
za podmínky (omezení platí pro všechny uzly a hrany):

$$\sum_j a_{ij} x_j + O_i \leq C_i^{EVO}.$$

Výsledky úlohy s ohledem na její jednoduchost, je možné lehce zkontrolovat a tím si potvrdit správnost matematického modelu. Je zjevné, že pro reálnou úlohu (stovky uzlů) a zavedení potřebných linearit je kontrola výsledků mnohem složitější až nemožná. Jako příklad lze uvést, že systém NERUDA, který uvažuje více technologických celků, jako jsou:

- MBU.
- Překládací stanice.
- Teplárny.
- Cementárny pro spolu spalování lehké frakce z procesu MBU atd.

Následně v programu GAMS proběhl výpočet a dle zadaných kritérií byly zjištěny nejvhodnější trasy pro svoz odpadu v rámci průměrné produkce. Toky a směry jednotlivých hran a uzlů viz obr. 37.



**Obr. 37 - Výsledková mapa ČR - směry svozu odpadu**

Ve výsledcích je zajímavý především uzel I, kdy dochází k odvozu odpadu do dvou spaloven, tj. do uzlu M a uzlu H. Toto je z důvodu splnění kapacity, která byla definovaná v motivačním příkladu a konstantní ceně za dopravu.

**Tab. 28 - Množství odpadu přes hranu**

Hrana	Množství odpadu [kt]
A - M	131
B - M	240
C - M	251
D - M	197
E - H	505
F - H	218
G - H	537
I - H	157
I - M	44
J - M	219
K - M	192
L - M	431

Účelová funkce pro totožnou cenu pro všechny hrany je stanovena na hodnotu  $5,13 \cdot 10^6$ .

## 5.2. Proměnná cena za přepravu v motivačním příkladu

Vzhledem k tomu, aby bylo možné zavést proměnnou cenu (nelineární závislou na vzdálenosti) v definovaném motivačním příkladu, je nutné z hlediska ceny posuzovat každou hranu individuálně. Z tohoto důvodu byla vytvořena tab. 29, která oceňuje jednotlivé hrany, a tyto ceny jsou následně vloženy do motivačního příkladu, viz sloupec cena. Vyhodnocení cen bylo stanoveno z rovnice pro nelisovaný odpad, viz kapitola 4.1, tj:

$$y = 2,381 + 138,083 \cdot x^{-1,015}.$$

Byl využit technicko-ekonomický model, který byl prezentován v kapitole 3.

**Tab. 29 - Definice lineární ceny dopravy nelisovaného odpadu**

Vzdálenost [km]	Z místa	Do místa	Cena [Kč/km.t]	Vzdálenost [km]	Z místa	Do místa	Cena [Kč/km.t]
85	A	B	3,90	80	H	E	4,00
125	A	L	3,41	140	H	I	3,30
130	A	M	3,37	140	I	H	3,30
85	B	A	3,90	95	I	D	3,74
100	B	M	3,67	30	I	J	6,75
140	B	C	3,30	125	I	M	3,41
140	C	B	3,30	30	J	I	6,75
150	C	M	3,23	120	J	M	3,45
130	C	D	3,37	100	J	K	3,67
130	D	C	3,37	100	K	J	3,67
130	D	M	3,37	115	K	M	3,50
95	D	I	3,74	100	K	L	3,67
95	D	E	3,74	100	L	K	3,67
95	E	D	3,74	90	L	M	3,82
80	E	H	4,00	125	L	A	3,41
100	E	F	3,67	130	M	A	3,37
100	F	E	3,67	100	M	B	3,67
70	F	H	4,23	150	M	C	3,23
105	F	G	3,61	130	M	D	3,37
105	G	F	3,61	125	M	I	3,41
100	G	H	3,67	120	M	J	3,45
100	H	G	3,67	115	M	K	3,50
70	H	F	4,23	90	M	L	3,82

Proměnná cena na jednotlivých hranách byla zavedena do motivačního příkladu s pomocnou účelovou funkcí 2, která vychází z předchozí účelové funkce 1 – rozdíl je pouze v definici ceny na jednotlivých hranách, tj. zaveden koeficient  $d_j$ .

Díky tomu je tato nelineární závislost ceny za přepravu na vzdálenosti zpracovaná před samotným optimalizačním výpočtem. Do výpočtu je cena vložena jako vstupní parametr

(již není proměnnou) a tudíž celá úloha zůstává lineární a tím je zaručeno nalezení globálního minima z pohledu celkových nákladů za zpracování odpadů (včetně dopravy).

### Účelová funkce. 2 - Nacení jednotlivých hran

$$z = \sum_j d_j v_j x_j + \sum_i \sum_j a_{ij} x_j p_i^{EVO}.$$

Účelová funkce pro individuálně oceněné hrany je stanovena na hodnotu  $7,21 \cdot 10^6$ .

## 6. Závěr

Diplomovou práci komplexní přístup k modelování dopravních nákladů při energetickém využití odpadů lze rozdělit do dvou hlavních částí, a to na **teoretickou část** a na **praktickou část**.

**Teoretická část** se zabývá základními právními předpisy, které hrají významnou roli v předmětné problematice. Poté následuje detailní rozpracování nákladních automobilů, kontejnerů, manipulační techniky a dalších důležitých prvků, které je nutné zohlednit při korektním stanovení manipulace a svozu komunálního odpadu. V závislosti na těchto parametrech je posléze řešena problematika vývoje cen PHM a mýtného systému, který se po roce 2016 může stát stěžejním parametrem v oblasti dopravy vzhledem k možnému, zpoplatnění celé silniční sítě v ČR.

**Praktickou část** symbolizuje značně složitý technicko-ekonomický model, který stanovuje za definovaných podmínek roční fixní náklady a kilometrové variabilní náklady. Náklady jsou uvažovány, jak pro lisovaný, tak i nelisovaný odpad. Z těchto dvou základních výstupů je proveden výpočet, jehož výstupem je cena dopravy odpadu jedné tuny v závislosti na vzdálenosti jednoho kilometru. Tato výstupní cena je počítána pro celkový vozový park nezbytný pro dopravu na vzdálenost až 100 km při maximální přepravované kapacitě 100 kt/r.

Výstupní cena vozového parku se pohybuje pro lisovaný odpad od cca 2 Kč do cca 18 Kč, v případě nelisovaného odpadu je cena vyšší z důvodu více cyklů, tj. cca od 3 Kč do cca 23 Kč. Uvažované ceny jsou dále využity v systému GAMS pro korektní výpočet optimálních svozových záležitostí v rámci motivačního příkladu.

V předkládané práci byly vytvořeny citlivosti na změnu ceny PHM a charakteristiku mýtného systému. Obě zmíněné charakteristiky ovlivňují ekonomiku svozových variant, neboť v případě nárůstu ceny PHM o 3 Kč se mohou provozní náklady pro nelisovaný odpad ročně zvýšit až o cca 135 000 Kč na jeden nákladní automobil. Uvedené lze chápat jako významný parametr v dané úloze. Teoretické roční náklady na mýtný systém lze uvažovat do velmi podobné částky. Samozřejmě úspora v oblasti mýtného systému je závislá na logistických požadavcích společnosti, která organizuje dopravu a definuje svozové trasy.

Výstupní model byl stanoven pro aktuální ceny v roce 2014 a nebylo uvažováno s nárůstem cen ani s inflací. Z tohoto důvodu, aby byl model spojitelný s realitou, je nutné korektně stanovit konečné ceny a náklady v oblasti řešené problematiky. Toho lze dosáhnout především kontrakty, které dokáží zajistit stabilní ceny v oblasti PHM, servisů a jiných služeb spojených s provozem a údržbou využívaného vozového parku na daný fiskální rok.

Spojení technicko-ekonomického modelu a optimalizačního systému GAMS lze chápat jako velmi silný nástroj pro budoucí predikci cen svozu odpadu nejen na území České republiky, ale i kteréhokoli konkrétního území, které bude rozděleno do definovaných sítí, pomocí výpočtových uzlů a hran.

Výsledky této práce budou dále využity při vývoji nástroje NERUDA, který může sloužit k modelování v oblasti odpadové politiky nebo stanovovat lokality, které jsou atraktivní pro výstavbu nových zařízení EVO. Vzhledem k produkci odpadu v ČR, ale i ve světě je vyvíjený software velmi užitečným nástrojem pro modelování logistiky v oblasti odpadovém hospodářství a stanovování konečných cen pro dopravní infrastrukturu.



## POUŽITÉ SYMBOLY

A	množina typů nákladních automobilů
a	incidenční matice
B	množina typů přívěsů
C	množina typů kontejnerů
c	kapacita
$C_{\text{nafta}}$	cena nafty
D	množina nakladačů
d	cena dopravy
g	koeficient udávající schopnost manipulace manipulátoru s kontejnerem
h	přepravní nosnost
I	investiční náklady
i	uzel
j	hrana
k	koeficient udávající maximální počet kontejnerů, které se dají přepravovat na autě a přívěsu
L	množina kontejnerů
M	pomocné veliké číslo
m	množství
$m_{lo}$	sytná hmotnost lisovaného odpadu
$m_o$	sytná hmotnost odpadu
$M_{ood}$	denní množství odpadu
$M_{ooh}$	hodinové množství odpadu
$M_{oor}$	volená kapacita
N	provozní náklady
o	počet operací pro jednu smyčku
O	produkce odpadu
p	kapacita překládací stanice
P	poplatek na bráně
$P_d$	denní pracovní doba
$P_r$	roční pracovní doba
$P_{rh}$	roční hodinová doba
s	počet smyček
t	čas jednotkové operace
T	celkový čas na provoz
u	vzdálenost překládací stanice od místa konečného zpracování a zpět
v	vzdálenost
x	množství odpadu
$\bar{Z}_a$	životnost automobilů

$\check{Z}_k$	životnost kontejnerů
$\check{Z}_l$	životnost velkoobjemové lžíce
$\check{Z}_{ls}$	životnost lisovací stanice
$\check{Z}_m$	životnost manipulátorů
$\varepsilon$	manipulace s přívěsem během jedné smyčky
$\pi$	průměrné zdržení přepravy na 1 km

## ZDROJE

- [1] Česká republika. Dostupné z: [www.codexisacademia.cz](http://www.codexisacademia.cz)
- [2] HAVELKA, Petr. Spalovny - skutečně ta nejlepší varianta zpracování komunálního odpadu?. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/96057/spalovny-skutecne-ta-nejlepsi-varianta-zpracovani-komunalniho-odpadu>
- [3] MORAVEC, Václav. In: Otázky Václava Moravce [televizní pořad]. ČT, 2014. ČT1 27. 4. 2014 12:00. Dostupné též z: <http://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/1126672097-otazky-vaclava-moravce/214411030500427/obsah/323012-richard-brabec-ano-ministr-zivotniho-prostredi>
- [4] Celková produkce komunálních odpadů na obyvatele, ČR. [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1612>
- [5] LAPÁČEK, Milan. *Trvale udržitelné nakládání s komunálním odpadem* [online]. Brno, 2012 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=53297](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53297). Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.
- [6] Separace komunálního odpadu. In: TYPOVSKÁ, Stanislava. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.gsos.cz/man/ev/pk.Z-PL20\\_Separace\\_komunalniho\\_odpadu.pdf](http://www.gsos.cz/man/ev/pk.Z-PL20_Separace_komunalniho_odpadu.pdf)
- [7] Komunální odpady. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/F86001AC798514E7C12570A5001EF028/\\$file/planeta11\\_2korektura.pdf](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/F86001AC798514E7C12570A5001EF028/$file/planeta11_2korektura.pdf)
- [8] Jiný pohled na ekonomiku MBÚ a spaloven. In: HABART, Jan. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008005001/brno\\_zera\\_habart.pdf](http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008005001/brno_zera_habart.pdf)
- [9] PAVLAS, Martin. *Waste availability, successful regional strategies and shaping new waste-to-energy projects*. Brno, 2014. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [10] Shipments of waste. In: 2006. Dostupné z: <http://lovdata.no/static/SF/32006r1013k-e-01.pdf>
- [11] TYPICKÁ SKLADBA KOMUNÁLNÍHO ODPADU. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/obr-typicka-skladba-komunalniho-odpadu>
- [12] Co je MBÚ?. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.mbu.cz/cz/Cojembu.php>
- [13] Proč je třídíčka zbytečná?. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.zdravy-mnisek.cz/zbytecna-mbu>

- [14] V Česku by se do roku 2025 měly uzavřít skládky na komunální odpad. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.parlamentnilisty.cz/arena/monitor/V-Cesku-by-se-do-roku-2025-mely-uzavrit-skladky-na-komunalni-odpad-269084>
- [15] Rozmístění starých ekologických zátěží. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka\\_06/img/a4\\_01.gif](http://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/img/a4_01.gif)
- [16] ZEMAN, Karel. Švýcarsko: Kam sním? Spálit!. [online]. s. 6 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.spalovnachatkov.info/archiv/stahnuti/ekologie-jinde-svycarsko.pdf>
- [17] NEJEDLÝ, Petr. Převod silniční dopravy na železnici z hlediska ceny. [online]. s. 7 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.fd.cvut.cz/projects/k612x1mp/dokumenty/silnice-versus-kp.pdf>
- [18] Informace o trhu s komunálními odpady v Německu - zařízení je příliš mnoho, odpadů málo. HAVELKA, Petr. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/informace-o-trhu-s-komunalnimi-odpady-v-nemecku-zarizeni-je-prilis-mnoho-odpadu-malo.html>
- [19] ČSAD INVEST, a.s. *Aktuální ceny PHM* [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.csadinvest.cz/index.php?link=phm>
- [20] Auto.cz: Mercedes-Benz Actros Lowliner: Tahač speciálních nákladů. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/mercedes-benz-actros-lowliner-tahac-specialnich-nakladu-52544>
- [21] Novinky.cz: Ministerstvo chce nechat platit mýto i osobáky s přívěsem. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/auto/122905-ministerstvo-chce-nechat-platit-myto-i-osobaky-s-privesem.html>
- [22] Image\_WF. In: [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.zdemar.sk/content/image.php?uid=4eb00d86680d7&size=full>
- [23] 000229\_05\_001175.jpg. In: [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: [http://www.rovnani-servis.cz/res/data/000229\\_05\\_001175.jpg?seek=1378652837](http://www.rovnani-servis.cz/res/data/000229_05_001175.jpg?seek=1378652837)
- [24] Walking floor-nový typ. In: *ES Trading: Návěsy a přívěsy* [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.wielton.cz/walking-floor-navesy?tabpage=15&taboffset=0&ts=2&epc=NS+34+YT%2FRP++M2>
- [25] Picture. In: [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.superto.cz/fotografie/275647/233/x/picture.png>
- [26] Innofreight. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.innofreight.com/>
- [27] Bild1gr. In: [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: [http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/3\\_dienstleistungen/Logistikloesungen/Images/bild1gr.JPG](http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/3_dienstleistungen/Logistikloesungen/Images/bild1gr.JPG)

- [28] Innofreight WoodTainer XS. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/english/2\\_produkte/pdf/2009/Datenblatt\\_WoodTainer\\_XS\\_2009\\_EN.pdf](http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/english/2_produkte/pdf/2009/Datenblatt_WoodTainer_XS_2009_EN.pdf)
- [29] Systém Innofreight. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.cdlogistics.cz/system-innofreight/typy-kontejneru-20>
- [30] Innofreight WoodTainer XL. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/english/6\\_news/event.php](http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/english/6_news/event.php)
- [31] News. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/english/6\\_news/3175.php](http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/english/6_news/3175.php)
- [32] Innofreight WoodTainer XXL. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/english/2\\_produkte/pdf/2008/HardTop/Datenblatt\\_WoodTainer\\_HardTop\\_XXL\\_2008\\_EN.pdf](http://www.innofreight.com/index.php?p=innofreight/english/2_produkte/pdf/2008/HardTop/Datenblatt_WoodTainer_HardTop_XXL_2008_EN.pdf)
- [33] Arbetstransport. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.skogforsk.se/PageFiles/61310/Arbetsrapport%20678-2009.pdf>
- [34] Nový lis na odpad ušetří městu peníze. In: ŠIPOŠOVÁ, Lenka. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://ustecky-kraj.5plus2.cz/chomutov-zacne-lisovat-odpad-djp-/chomutov.aspx?c=A130829\\_070903\\_ppd-chomutov\\_30992](http://ustecky-kraj.5plus2.cz/chomutov-zacne-lisovat-odpad-djp-/chomutov.aspx?c=A130829_070903_ppd-chomutov_30992)
- [35] Výpočet čisté mzdy. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.vypocet-ciste-mzdy.cz/>
- [36] Mýto v České Republice. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: [http://www.doprava.vpraxi.cz/myto\\_cr.html](http://www.doprava.vpraxi.cz/myto_cr.html)
- [37] Mapa zpoplatnění. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.mytocz.eu/cs/mytny-system/mapa-zpoplatneni/index.html>
- [38] Sazby mýtného. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.mytocz.eu/cs/mytny-system/sazby-mytneho/index.html>
- [39] Systém slev na mýtném. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.slevymyto.cz/>
- [40] Přehledy z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Delky-a-dalsi-data-komunikaci/prehledy-z-informacniho-systemu-o-silnicni-a-dalnicni-siti-cr>
- [41] Jak bude vypadat mýto v České republice po roce 2016. [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.elogistika.info/zpravy/doprava-a-preprava/jak-bude-vypadat-myto-v-ceske-republice-po-roce-2016.html#.U4OYUvltM>

- [42] Vývoj ceny benzínu, nafty, aktuální cena a podrobný graf: Graf ceny benzínu Natural 95 a Nafty za poslední tři měsíce. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/komodity/index.asp?A=6&od=11.2.2014&do=11.5.2014&compare=Zobraz>
  
- [43] ŠOMPLÁK, Radovan, Martin PAVLAS, Pavel POPELA a Vít PROCHÁZKA. Logistický model pro rozhodování v oblasti odpadového hospodářství. 2013, s. 6. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/vyzkum-a-vyvoj/vysledky?vav\\_id=102325#vysledek-102325](https://www.vutbr.cz/vyzkum-a-vyvoj/vysledky?vav_id=102325#vysledek-102325)
  
- [44] GAMS. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.gams.com/>
  
- [45] [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www1.cenia.cz/www/sites/default/files/Produkce%20odpadu\\_po%20krajich\\_2003-2011.pdf](http://www1.cenia.cz/www/sites/default/files/Produkce%20odpadu_po%20krajich_2003-2011.pdf)
  
- [46] KOVÁŘ, Petr. *Úvod do Teorie grafů*. Ostrava, 2012. Dostupné z: [http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod\\_do\\_teorie\\_grafu.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod_do_teorie_grafu.pdf)

## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA Č. 1 Velkoobjemové lžíce

PŘÍLOHA Č. 2 Walking Floor systém

PŘÍLOHA Č. 3 Silniční síť ČR

PŘÍLOHA Č. 4 CD s elektronickou podobou práce

## **PŘÍLOHA Č. 1**

### **Standardní lopata zesílená na zemní práce**

Objem lžice 1,0 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžice 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 1,8 t/m<sup>3</sup>. Hmotnost lžice 500 Kg. Základní břit HB 500 200 x 20.

Cena této varianty 49 000 Kč.

Objem lžice 1,5 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžice 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 1,8 t/m<sup>3</sup>. Hmotnost lžice 650 Kg. Základní břit HB 500 200 x 20.

Cena této varianty 57 000 Kč.

Varianta šroubový zub typ JCB + 7 500 Kč

Varianta dodatečně podvařený břit HB 500 200 x 20 + 5 000 Kč

Varianta šroubový břit HB 500 203 x 19 + 10 000 Kč

### **Standardní lopata na lehké hmoty**

Objem lžice 2,0 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžice 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 1,0 t/m<sup>3</sup>. Hmotnost lžice 680 Kg. Základní břit HB 500 150 x 20.

Cena této varianty 53 000 Kč.

Varianta dodatečně podvařený sekční břit HB 500 150 x 20 + 4 500 Kč

Objem lžice 2,5 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžice 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 1,0 t/m<sup>3</sup>. Hmotnost lžice 730 Kg. Základní břit HB 500 200 x 20.

Cena této varianty 58 000 Kč.

Varianta dodatečně podvařený sekční břit HB 500 200 x 20 + 5 000 Kč

Objem lžice 3,0 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžice 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 1,0 t/m<sup>3</sup>. Hmotnost lžice 850 Kg. Základní břit HB 500 200 x 20.

Cena této varianty 65 000 Kč.

Varianta dodatečně podvařený sekční podbřit HB 500 200 x 20 + 5 000 Kč

Objem lžice 4,0 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžice 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 1,0 t/m<sup>3</sup>. Lžici lze vyztužit žebrem. Hmotnost lžice 1 100 Kg. Základní břit HB 500 200 x 25.

Cena této varianty 85 000 Kč.

Varianta dodatečně vařený břit + 5 000 Kč

Varianta šroubový břit HB 500 203 x 19 + 10 000 Kč

Varianta šroubový břit HB 500 254 x 25 + 12 000 Kč



### **Standardní lopata zemědělská**

Objem lžíce 2,0 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžíce 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 1,1 t/m<sup>3</sup>. Hmotnost lžíce 700 Kg. Základní břit HB 500 200 x 20.

Cena této varianty 55 000 Kč.

Varianta dodatečně podvařený sekční podbřit HB 500 200 x 20 + 5 000 Kč

Objem lžíce 2,5 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžíce 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 1,1 t/m<sup>3</sup>. Hmotnost lžíce 800 Kg. Základní břit HB 500 200 x 20.

Cena této varianty 60 000 Kč.

Varianta dodatečně podvařený sekční podbřit HB 500 200 x 20 + 5 000 Kč

### **Verze lžíce zemědělská a lehčí zemní práce**

Objem lžíce 1,7 m<sup>3</sup> ISO/SAE, šířka lžíce 2,4 - 2,5 m. Vhodná pro materiály o hmotnosti do 2 t/m<sup>3</sup>. Hmotnost lžíce 800 Kg. Základní břit HB 500 200 x 20.

Cena této varianty 60 000 Kč.

Varianta šroubový zub typ JCB + 7 500 Kč

Varianta dodatečně podvařený břit HB 500 200 x 20 + 5 000 Kč

Varianta šroubový břit HB 500 203 x 19 + 10 000 Kč

## PŘÍLOHA Č. 2

**WIELTON** **ES – TRADING s.r.o****WIELTON NS 34 YT/RP****Hliníkový návěs s chodící podlahou CARGO FLOOR**

Celková délka:	14 035 mm
Vnitřní délka:	13 530 mm
Celková šířka:	2 550 mm
Vnitřní šířka:	2 480 mm
Celková výška:	4 000 mm
Vnitřní výška:	2 610 mm
Celková hmotnost:	36 000 kg
Pohotovostní hmotnost:	7 800 kg
Užitečná hmotnost:	27 500 kg
Hmotnost připadající na točnu:	12 000 kg
Objem:	90 m <sup>3</sup>
Výška točny:	1 150 mm

**Charakteristika návěsu**

<b>Rám:</b>	Ocelová kostra, švédská pevnostní ocel DOMEX, vyměnitelný královský čep 2°
<b>Podpěry:</b>	Mechanické, 24 t zvedací mechanismus JOST
<b>Nápravy:</b>	SAF Plus Integral, / BPW, 1. zvedací náprava ovládaná automaticky i manuálně
<b>Pérování:</b>	Pneumatické pérování s dorovnáním k rampě
<b>Brzdy:</b>	Dvou-okruhový vzduchový brzdový systém s kotoučovými brzdami, pneumatická parkovací brzda, brzdový systém EBS WABCO, zátěžový regulátor, volně přístupná diagnostická zásuvka
<b>Kola:</b>	Ocelové disky, 6 x pneu 385/ 65 R 22,5
<b>Nástavba:</b>	<b>Chodící podlaha CARGO FLOOR</b> , zadní hliníkové dveře, 2x zámek na každé křídlo, plachta
<b>Čelo:</b>	Celohliníkové
<b>Lakování:</b>	Podvozek - 2 x elektrostaticky nanášená červená barva RAL 3004 nebo šedá RAL 7021, barva nástavby žlutá
<b>Příslušenství:</b>	2 klíny pod kola, držák SPZ, boční zábrana proti podjetí dle EN, Al žebřík, uzamykatelná skříňka na nářadí, <b>držák rezervy + 1x rezerva</b>
<b>Elektrické zařízení:</b>	24 voltů, 2 ks zadních pěti - funkčních světel, obrysové světla vpředu i vzadu, osvětlení SPZ, oranžové boční osvětlení LED

**PŘÍLOHA Č. 3**

Tabulka definuje kilometrovou délku silničních sítí v ČR ke dni 1. 1. 2014

Kraj	Dálnice	Silnice I.	Silnice II.	Silnice III.	Rychlostní silnice	Celkem	Placené úseky
Středočeský	194,2	669,6	2 377,6	6 247,5	152,1	9 641,0	10,54 %
Jihočeský	40,0	650,4	1 635,0	3 818,7	6,7	6 150,8	11,33 %
Plzeňský	109,2	417,3	1 506,1	3 097,7	-	5 130,3	10,26 %
Karlovarský		182,6	467,1	1 358,3	-	2 008,0	9,09 %
Ústecký	56,5	478,5	899,3	2 753,1	28,4	4 215,8	13,36 %
Liberecký		315,6	486,9	1 590,9	22,2	2 415,6	13,98 %
Královéhradecký	16,8	439,1	894,4	2 419,2	-	3 769,5	12,09 %
Pardubický	8,8	454,9	913,4	2 218,1	3,1	3 598,3	12,97 %
Vysočina	92,5	427,4	1 627,3	2 935,1	-	5 082,3	10,23 %
Jihomoravský	134,5	422,1	1 468,4	2 409,6	25,8	4 460,4	13,06 %
Olomoucký	36,2	347,1	925,7	2 169,5	90,5	3 569,0	13,28 %
Zlínský	16,6	342,1	511,5	1 256,0	16,4	2 142,6	17,51 %
Moravskoslezský	59,9	635,4	823,6	1 895,8	40,0	3 454,7	21,28 %
<b>Celkem</b>	<b>765,2</b>	<b>5 782,1</b>	<b>14 536,3</b>	<b>34 169,5</b>	<b>385,2</b>	<b>55 638,3</b>	<b>12,46 %</b>

### Procentuální vyjádření silničních sítí v ČR

